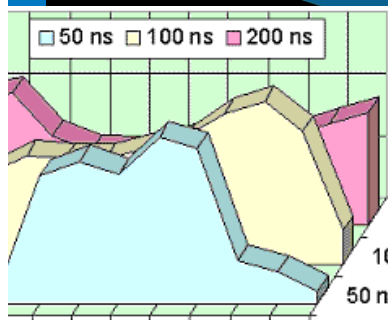
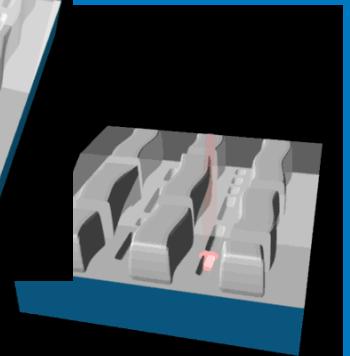
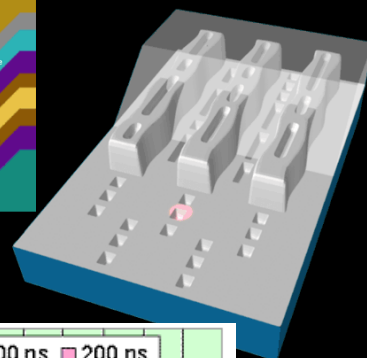
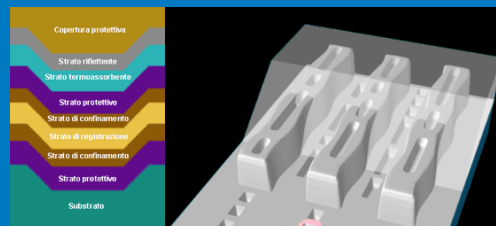
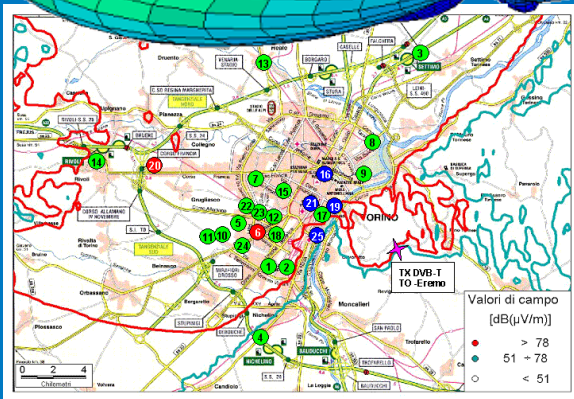
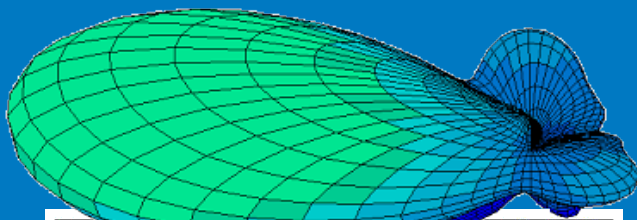
Anno LI
Numero 3
Dicembre 2002

Elettronica e telecomunicazioni

Editoriale

Ricezione portatile indoor DVB-T

Ricezione DVB-T negli impianti centralizzati d'antenna

Il Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica all'IBC 2002

Che cosa è, come funziona:

Il disco ottico versatile (DVD)

Dischi scrivibili e riscrivibili (DVD-R, DVD-RW, DVD+RW, DVD-RAM)

Il futuro è blu (Blu-Ray Disc, AOD, ...)

Elettronica e telecomunicazioni

Edizione ottimizzata per la stampa.
La rivista è disponibile su web
alla URL www.crit.rai.it/eletel.htm

Anno LI
N° 3
Dicembre 2002

Rivista quadrimestrale a cura della Rai

Direttore responsabile
Gianfranco Barbieri

Indice

Editoriale

ing. Gianfranco Barbieri
Direttore di
"Elettronica e
Telecomunicazioni"

Il Ministero delle Telecomunicazioni e la Fondazione Bordoni hanno recentemente presentato il "libro bianco" sullo sviluppo delle telecomunicazioni in Italia; in esso, la Televisione Digitale Terrestre viene individuata come una delle quattro linee di crescita del settore.

Il Governo ha ribadito la scadenza del 2006 come termine per la estinzione del servizio di televisione analogica e da una decina di anni il Centro Ricerche della RAI è attivo nella sperimentazione delle trasmissioni di televisione in tecnologia digitale oltre ad aver contribuito in misura significativa all'elaborazione della normativa internazionale.

Uno dei fattori che rivestiranno un ruolo determinante nel favorire il rapido "switchover" tra le due tecnologie e' costituito dalla compatibilità degli impianti riceventi d'antenna, in particolare quelli centralizzati; un'indagine effettuata alcuni anni fa aveva rivelato che circa il 50% dell'utenza italiana fruiva del servizio televisivo attraverso questi ultimi. Le recenti esperienze fatte in Gran Bretagna, dove il servizio di TV Digitale è già operativo, hanno messo in luce l'esistenza di alcune problematiche. L'articolo "Ricezione DVB-T negli impianti centralizzati d'antenna", pubblicato nel presente numero, riporta i risultati di una serie di approfondite indagini sia teoriche che sperimentali su impianti realizzati con diverse tecniche di amplificazione e distribuzione.

Una importante possibilità offerta dallo standard digitale terrestre all'utenza domestica è la ricezione portatile "indoor". In determinate condizioni, tuttavia, ove le infrastrutture in muratura producono una forte attenuazione del segnale, possono insorgere difficoltà di ricezione. L'articolo "Ricezione portatile indoor DVB-T" affronta la suddetta problematica descrivendo i risultati di valutazioni effettuate in oltre 140 punti di un edificio di tre piani e suggerendo alcune soluzioni tecniche per migliorare la qualità del servizio.

Ricezione portatile indoor DVB-T

ing. Andrea Bertella,
ing. Paolo Benvenuto Forni,
ing. G. Giancane,
ing. Bruno Sacco,
p.i. Mirto Tabone

Rai - Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica Torino

Sommario

Nel Febbraio 1998 il Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica della RAI (Rai-CRIT) ha iniziato le prime campagne di sperimentazione sulla televisione digitale terrestre (DVB-T) nell'area torinese. Lo scopo principale di tale iniziativa era la valutazione tecnica delle prestazioni del sistema - alla cui definizione Rai-CRIT aveva contribuito direttamente in ambito al Progetto Europeo DVB (Digital Video Broadcasting) - e la individuazione dei requisiti di servizio.
Il presente articolo descrive i risultati delle prove riguardanti la ricezione portatile "indoor", ossia all'interno degli edifici, che rappresenta un'importante possibilità offerta dalla DVB-T all'utenza domestica. Le valutazioni sono state effettuate in oltre 140 punti distribuiti sui tre piani dell'edificio di Rai-CRIT.
E' stata inoltre valutata l'efficacia di ripetitori in banda per uso domestico (gap-filler) impiegati per migliorare la ricezione DVB-T nelle aree dell'edificio soggette a forte attenuazione del segnale ricevuto via etere a causa delle infrastrutture in muratura e la sfavorevole posizione (fuori vista) rispetto all'impianto trasmittente DVB-T. In particolare è stata analizzata l'influenza sulla qualità di ricezione dovuta agli echi corti e di forte intensità, che caratterizzano la ricezione portatile indoor, ed è stata valutata la compatibilità dei gap-filler ai limiti di esposizione ai campi elettromagnetici stabiliti dalla normativa nazionale vigente.
Infine vengono presentate le caratteristiche tecniche di un sistema ricevente d'antenna a "diversity spaziale", appositamente sviluppato da Rai-CRIT per migliorare la ricezione DVB-T indoor, e se ne riportano i risultati delle prove di ricezione.

1. Introduzione

Nel 1998 la Rai ha presentato al Ministero delle Comunicazioni un piano articolato di sperimentazione sulla televisione digitale terrestre (DVB-T). Tale piano, sviluppato in ambito al Comitato Nazionale per lo sviluppo dei Sistemi Digitali costituito dall'Autorità Garante per le Comunicazioni, prevede una serie di sperimentazioni su alcune aree pilota in ambiente urbano e suburbano [1].

Le prime sperimentazioni DVB-T hanno avuto inizio nella città di Torino sin dal Febbraio del 1998 e sono state indirizzate principalmente alla valutazione delle prestazioni del sistema DVB-T in varie condizioni di ricezione – fissa con antenna direttiva, mobile, e con apparati riceventi portatili all'interno degli edifici (ricezione indoor) – nonché alla identificazione dei requisiti del nuovo servizio di televisione digitale terrestre.

Le problematiche relative alla ricezione portatile indoor sono state valutate assumendo come riferimento l'edificio del Centro Ricerche (Rai-CRIT) (Figura 1), che si sviluppa su tre piani realizzati in cemento, occupa una superficie totale di circa 800 m^2 ed è caratterizzato da ampie finestre, in parte rivolte verso il trasmettitore Rai di Torino-Eremo, situato in linea d'aria ad una distanza di circa 5 chilometri.

Fig. 1 - Edificio di Rai-CRIT nel quale si sono effettuate le prove di ricezione indoor

Tra le numerose possibili modalità di trasmissione del segnale DVB-T si è adottata, nelle prove di ricezione fissa (con antenna direttiva) e portatile (con antenna omnidirezionale), la seguente configurazione:

64QAM, rate 2/3

2K/8K mode;

Δ =1/32 (intervallo di guardia)

bit-rate utile: 24,13 Mbit/s

C/N ≈ 18,5 dB alla soglia di errore (QEF) su canale ideale

Nota 1. Tabella A1.6 pagina 32.

Nota 2. Il guadagno dell'antenna è pari a –3 dBi; l'attenuazione del cavo posto fra antenna e ricevitore è pari a 2 dB.

Questa configurazione di trasmissione privilegia la "capacità trasmissiva", che è ritenuta condizione essenziale nella fase di lancio dei nuovi servizi DVB-T onde sopperire alla scarsità di risorse in frequenza al momento disponibili. Altre configurazioni, quali ad esempio il 16QAM, rate ¾, attualmente all'esame in Gran Bretagna dove i servizi DVB-T sono operativi dal novembre 1998, consentono di aumentare la robustezza del sistema (C/N = 14,5 dB) a scapito però di una riduzione della capacità trasmissiva (bit-rate utile = 18,10 Mbit/s). La configurazione 16QAM potrebbe quindi assumere un maggiore interesse, nel nostro Paese, in una seconda fase quando i servizi DVB-T saranno a regime e la ripianificazione dello spettro di frequenze operativa.

Il trasmettitore RAI di Torino-Eremo è caratterizzato da una potenza irradiata (ERP) di 300W sul canale 28 (UHF), in polarizzazione verticale, con una copertura potenziale del servizio che si estende sulla città di Torino e sulle aree suburbane limitrofe.

La piattaforma tecnologica di codifica/multiplazione del segnale DVB-T è installata presso Rai-CRIT; il segnale digitale multiplexato a livello TS (Transport Stream) viene trasportato al centro trasmittente, per mezzo di un collegamento in ponte radio digitale SDH, dove viene effettuata la modulazione COFDM e la messa in onda.

2. Ricezione portatile indoor: configurazione di misura

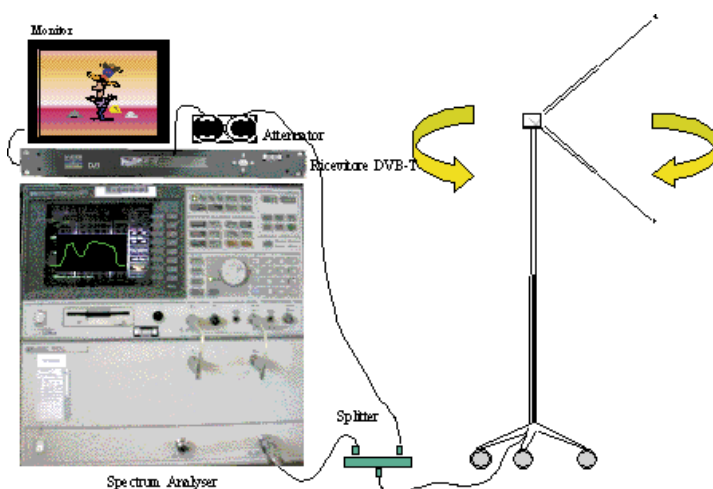
Precedenti valutazioni in area di servizio con la potenza di trasmissione sopra specificata [2] hanno stabilito in 80 dBmV/m circa il livello del campo e.m. disponibile a 10 metri di elevazione rispetto al suolo; ciò corrisponde approssimativamente all'altezza del tetto dell'edificio del Centro Ricerche (per i dettagli si rimanda al prossimo paragrafo).

Tale valore fornisce un margine sul livello del campo e.m. alla soglia di corretta ricezione del segnale (QEF, quasi error free) di circa 38 dB. Il livello del campo richiesto risulta quindi di 42 dBmV/m, valore che conferma le assunzioni di base della CEPT [1][Nota1] nella Conferenza di Chester del 1997: per ottenere in ricezione fissa con antenna direttiva un valore del rapporto portante/rumore (C/N) pari a 20 dB – come richiesto dal segnale DVB-T in configurazione 64QAM 2/3, tenendo conto di un opportuno margine di implementazione – è necessario un valore del campo e.m. di almeno 44 dBmV/m.

Il set-up di misura adottato per le prove di ricezione indoor è rappresentato in Figura 2.

E' stata utilizzata un'antenna a dipolo, dalla tipica forma a "V" , comunemente impiegata per la ricezione televisiva analogica portatile[Nota2]; tuttavia, essendo la polarizzazione in trasmissione verticale, tale antenna è stata utilizzata con una rotazione di 90°.

Fig. 2 - Set-up di misura per la ricezione portatile indoor.

	Primo piano	Secondo piano	Terzo piano
Valore medio ($dB_{\mu V/m}$)	78,60	81,45	80,75
Deviazione standard ($dB_{\mu V/m}$)	1,79	1,32	2,82

Tab. 1 - Valore medio e deviazione standard del campo e.m.

Sono state valutate, sui quattro piani dell'edificio, oltre 140 posizioni, arbitrariamente scelte, ma omogeneamente distribuite. Per ciascun piano è stata effettuata una misura preliminare del campo e.m. all'esterno delle finestre in linea diretta (in vista) con il trasmettitore; ciò ha fornito i livelli di riferimento per il successivo calcolo delle perdite sul livello del campo e.m. dovute alla attenuazione introdotta dai muri dell'edificio (Building Penetration Loss, BPL).

Le valutazioni sono state effettuate in due fasi successive.

Prima fase

In ciascun punto di misura si sono adottate le seguenti procedure:

- Misura del campo e.m. all'esterno dell'edificio a diverse altezze corrispondenti ai vari piani e all'ingresso del ricevitore: da questi valori si sono dedotte le perdite di penetrazione nell'edificio (BPL).
- Impiegando un sistema di telecomando è stata modificata la posizione dell'antenna entro un raggio di 20-30 cm alla ricerca della condizione migliore di ricezione, come suggerito in [4] Nota3.
- Sono stati misurati la potenza del segnale ricevuto (Pin), il tasso d'errore (BER), la qualità dell'immagine e del suono, il margine di ricezione Nota4.
- Si è valutata quindi la copertura percentuale del servizio all'interno dell'edificio.

Seconda fase

- E' stato introdotto un "gap filler" (ossia un ripetitore sul canale 28 installato al 2° piano) per consentire la ricezione nei punti dell'edificio in cui dalle misure della prima fase non era risultata possibile.
- Sono state valutate le prestazioni di due tipi d'antenna trasmittente per il gap filler (Yagi e omnidirezionale).
- E' stato infine utilizzato un criterio di valutazione più stringente che esclude l'ottimizzazione della posizione dell'antenna ricevente omnidirezionale.
- Nelle varie condizioni di misura è stata valutata la copertura percentuale del servizio.

2.1 Risultati della prima fase

La potenza del segnale r.f. ricevuto (P_{in}) all'esterno delle finestre di Rai-CRIT è stata misurata in sei punti per ogni piano. Si è impiegato allo scopo un automezzo dotato di albero estensibile con antenna di misura log-periodica (guadagno di 6 dB) e un ricevitore di misura Rohde&Schwarz tipo ESVB; è stata quindi applicata la formula seguente per la valutazione del campo e.m. disponibile:

Nota 3. Sezione 4.4 pagina 4-2.

$$E[dB_{\mu V/m}] = P_{in}[dB_{\mu V}] + 20 \cdot \log_{10}\left(\frac{2 \cdot \Pi \cdot f}{c_o}\right) - G + A$$

dove:

P_{in} = potenza del segnale, misurata con lo strumento ESVB)
f = frequenza = 530 MHz
C_o = velocità della luce = $3 \cdot 10^8$ m/s
G guadagno dell'antenna ricevente = 6 dB
A= attenuazione del cavo = 8,2 dB

Nota 4. Per ottenere il margine di ricezione, il livello del segnale proveniente dall'antenna è stato attenuato fino al raggiungimento della soglia QEF. L'attenuazione corrisponde al margine di ricezione.

In Tabella 1 sono riportati, per i tre piani dell'edificio, il valore medio e la deviazione standard del campo e.m. ricevuto.Tali valori sono in buon accordo con la copertura stimata su Torino, nel corso di precedenti prove in area

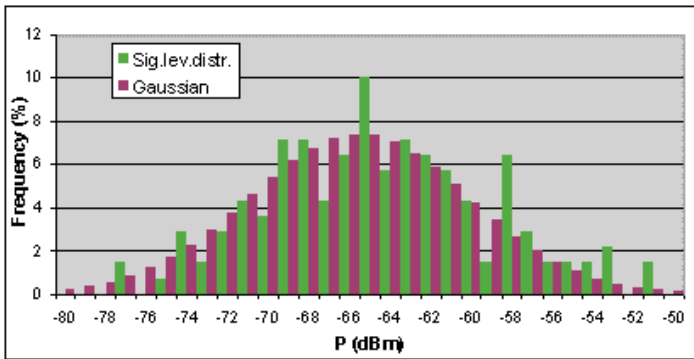



Fig. 3 - Densità di probabilità del segnale ricevuto e curva gaussiana teorica.

di servizio [2] che indicano un valore di campo di circa 80 dBmV/m Nota5 presso il sito di Rai-CRIT.

Nota 5. A 10 metri "above ground level".

La Figura 3 mostra come la densità di probabilità della potenza del segnale ricevuto (P_{in}) approssimi sensibilmente la legge gaussiana, con un valor medio di –65,7 dBm e una deviazione standard di 5.4 dBm. Tale comportamento è simile a quello già emerso nelle prove preliminari di campo svolte presso altri laboratori [5].

Il valore del rapporto C/N al ricevitore può essere ricavato dalla potenza del segnale ricevuto, come segue:

$$\frac{C}{N} = \frac{C_{\psi}}{KT_0 B(F_{RX} - 1)}$$

dove:

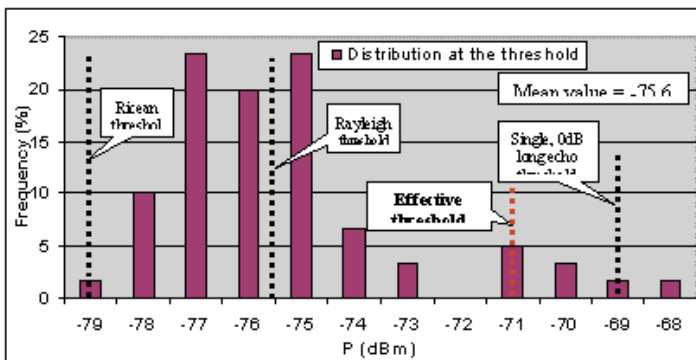
C_y = livello segnale r.f. ricevuto [W]
K = costante di Boltzmann = 1,38?10^{-23} J/s;
F_{RX} = figura di rumore del ricevitore = 5,01 (corrispondente a 7 dB)
T_o = temperatura [k]
B = larghezza di banda del canale = 7,61 MHz

Per una buona ricezione del segnale DVB-T, il valore del rapporto C/N disponibile nei punti di misura deve essere maggiore del valore di C/N caratteristico della configurazione di trasmissione adottata, onde garantire un certo margine di ricezione.

A causa delle diverse configurazioni degli echi sul segnale ricevuto, riscontrate nei vari casi, il livello del segnale richiesto alla soglia di funzionamento QEF del ricevitore può essere assai variabile; sono stati rilevati alcuni casi in cui esso si trovava parecchi dB al di sopra del valore previsto nel caso ideale di rumore bianco gaussiano additivo (AWGN). Come conseguenza la distribuzione del livello del segnale alla soglia QEF si scosta sensibilmente dalla legge gaussiana, come si può osservare in Figura 4. In tale figura sono indicati i livelli del segnale nei casi di canale di Rice (ricezione con antenna direttiva) e di canale di Rayleigh (ricezione con antenna omnidirezionale). Sono inoltre indicati due livelli di potenza alla soglia aggiuntivi (Effective Threshold Level e Single 0 dB long echo Threshold), descritti successivamente, e utili ai fini della valutazione della ricezione indoor.

In particolare, sono stati rilevati alcuni punti di misura in cui non era possibile la ricezione, sebbene il livello segnale r.f. ricevuto fosse significativamente più alto rispetto a quello previsto alla soglia di Rayleigh che caratterizza, teoricamente, la ricezione con antenna omnidirezionale (è questo il caso della ricezione con terminali portatili).

In Figura 4, la parte destra della distribuzione tiene conto solo parzialmente delle "anomalie" riscontrate in alcuni punti; infatti in tali punti, anche con un livello del segnale di parecchi dB

Fig. 4 - Distribuzione della potenza del segnale alla soglia di funzionamento del ricevitore.

al di sopra della soglia con ”eco lungo singolo”, a C/I=0 dB (ossia con livello dell’eco uguale a quello del segnale principale), il ricevitore non è stato in grado di funzionare; poiché nei suddetti casi non vi era margine di ricezione, tali punti non sono stati inclusi nell’istogramma.

Successive analisi hanno permesso di scoprire che in tali casi, lo spettro del segnale COFDM era caratterizzato dalla presenza di “buchi” corti e profondi (si rimanda al §2.4) attribuibili all’effetto di echi vicini.

Allo scopo di meglio descrivere l’ambiente indoor in termini di soglia di ricezione è stato introdotto un parametro empirico per individuare il livello effettivo della potenza alla soglia, chiamato Effective Threshold Level, ETL e dedotto a partire dal valore medio, MV (dBm) e dalla deviazione standard, SD (dBm) del segnale ricevuto. Tale parametro è dato dalla somma di MV con il valore di SD moltiplicato per due.

Nel nostro caso:

ETL = -75,6 dBm + 2 * 2,3 dBm = -71 dBm

La Figura 5 illustra la distribuzione cumulativa del livello di potenza del segnale all’ingresso del ricevitore. Da tale curva, assumendo che il rapporto C/N richiesto dal sistema alla soglia QEF sia costante e corrisponda alla soglia ETL (-71 dBm corrispondenti a C/N = 28 dB), si deduce¸ una ricezione DVB-T corretta in circa l’85% dei casi.

Una volta ottenuti i valori relativi al campo e.m. all’interno dell’edificio, è stato possibile risalire ai valori del Building Penetration Loss (BPL), ossia dell’attenuazione introdotta dalle infrastrutture dell’edificio. Questa grandezza è definita come “differenza tra il valore del campo nel punto di misura all’interno della stanza e quello all’esterno dell’edificio alla stessa altezza rispetto al suolo”.

E’ stato preso in considerazione soltanto il lato dell’edificio situato di fronte al sito trasmittente di Torino-Eremo. I risultati di tali misure sono sinteticamente riportati in Tabella 2.

Field strength (dBμV/m) 2^{nd} floor (m.v.)	74.40
Standard deviation (dB□V/m) 2^{nd} floor	2.63
Field strength (dBμV/m) 2^{nd} floor ext. (m.v.)	81.45
Building Penetration Loss (dB) 2^{nd} floor	7.00
Field strength (dBμV/m) 1^{st} floor (m.v.)	74.00
Standard deviation (dBμV/m) 1^{st} floor	4.51
Field strength (dBμV/m) 1^{st} floor ext. (m.v.)	78.60
Building Penetration Loss (dB) 1^{st} floor	4.60
Field strength (dBμV/m) (m.v.) 1^{st} + 2^{nd}	74.20
Standard deviation (dBμV/m) 1^{st} + 2^{nd}	3.62
Field strength (dBμV/m) ext. (m.v.) 1^{st} + 2^{nd}	80.02
Building Penetration Loss (dB) 1^{st} + 2^{nd}	5.80

Tab. 2 - Risultati relativi alle perdite di penetrazione (BPL).

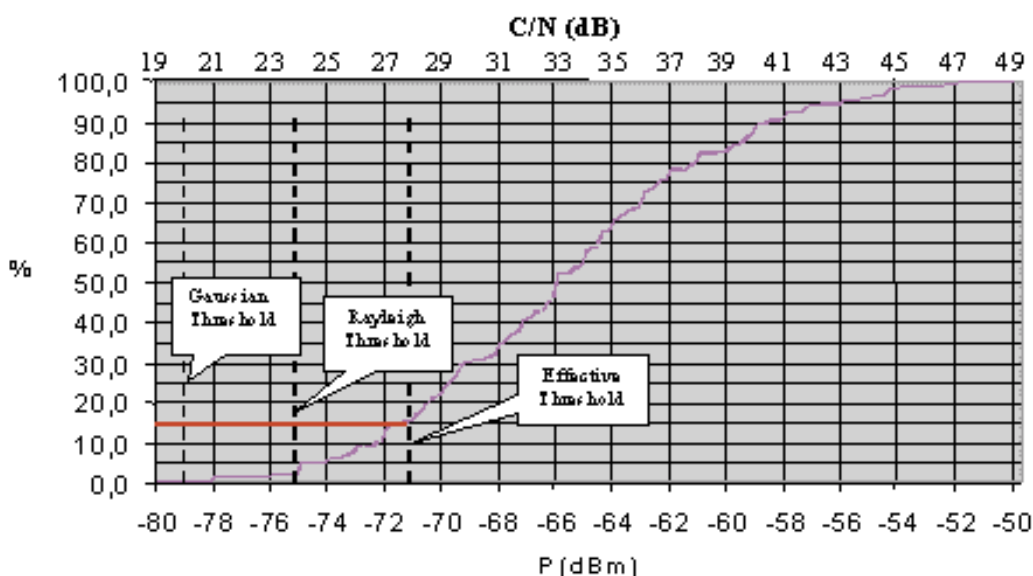



Fig. 5 - Distribuzione cumulativa del livello del segnale ricevuto.

E' necessario sottolineare come siano stati presi in considerazione soltanto punti relativi al primo ed al secondo piano dell'edificio, in quanto il terzo piano, oltre ad avere una superficie piuttosto limitata, è situato su di un'area piccola del tetto (si osservi la Figura 1) ed è sovrastato da alcune strutture in ferro che potrebbero fortemente influenzare il livello del campo e.m. ricevuto.

I risultati riportati in Tabella 2 sono in buon accordo con quelli ottenuti attraverso le campagne di misura effettuate da altri organismi europei [5].

I valori medi di BPL risultano compresi tra 4,6 dB e 7 dB, rispettivamente per il primo e il secondo piano. Tali valori forniscono una prima importante indicazione sugli effetti introdotti dagli edifici nella ricezione indoor del segnale DVB-T in termini di attenuazione del campo e.m. ricevuto via etere.

2.2 Copertura con gap-filler

Risultati

Per estendere la copertura del servizio indoor alle aree dell'edificio non servite nelle condizioni normali di ricezione con semplice antenna omnidirezionale, è stato installato ad un piano intermedio (secondo piano) un gap-filler a bassa potenza (2 mW) operante in banda sul canale 28/UHF. Si tratta di un apparato rice-trasmittente che riceve il segnale r.f. da un'antenna situata sul tetto e reirradia il segnale all'interno dell'edificio sullo stesso canale. Naturalmente l'impiego di tale dispositivo non è necessario qualora le condizioni di ricezione siano già soddisfacenti.

E' opportuno sottolineare che, poiché le misure hanno dimostrato che nella parte dell'edificio fuori vista dal trasmettitore di Torino-Eremo la ricezione indoor risulta difficile e comunque sensibilmente peggiore rispetto alle zone in vista, le misure con il gap-filler sono state effettuate soltanto sui tre piani dell'edificio localizzati in tale area. Per valutare l'efficacia del gap-filler, si è simulata una situazione di cattiva ricezione introducendo un'attenuazione addizionale sul segnale all'ingresso del ricevitore DVB-T; con tale procedura si è rilevato che nei punti critici selezionati, la copertura del servizio, senza gap-filler, n1on avrebbe superato il valore di 50%.

I risultati delle prove sono promettenti ed indicano che l'impiego di un solo gap-filler, con una potenza di uscita di 2mW per canale, è sufficiente per ottenere globalmente la copertura sui tre piani (superficie totale di circa 800 m^2).

I dati raccolti sembrano inoltre indicare che l'antenna trasmittente omnidirezionale del gap-filler è, in media, più efficace dell'omologa antenna direzionale.

Tali risultati, dunque, indicano che la potenza d'uscita di 2 mW del gap filler – per canale r.f. – è sufficiente a fornire una copertura dell'edificio molto estesa, ma anche che, probabilmente, per abitazioni di più piccole dimensioni, tale valore potrebbe essere ulteriormente ridotto.

Oltre ad aumentare il livello del segnale r.f., l'impiego del gap-filler ha migliorato globalmente le prestazioni del sistema nei confronti degli echi vicini, spesso riducendo le variazioni dello spettro del segnale COFDM, uniformandone l'andamento in banda e consentendo quindi al ricevitore di operare in condizioni meno critiche. Infatti, utilizzando il gap-filler, il valore del livello del segnale alla soglia di corretta ricezione (ETL) è risultato di circa 3 dB inferiore al valore corrispondente in assenza di tale dispositivo (-74 dBm invece di –71 dBm).

Inoltre, utilizzando il gap-filler, un valore medio di –63,4 dBm per il livello del segnale ricevuto, è risultato sufficiente a garantire un buona ricezione nell'80% dei casi, anche in presenza di perturbazioni dovute al passaggio di persone intorno all'antenna ricevente; tale percentuale sale al 100% qualora venga riposizionata di volta in volta l'antenna ricevente.

L'isolamento tra le antenne trasmittente e ricevente del gap-filler non è risultato critico,

in quanto tali antenne sono lontane tra di loro di circa 20 metri e sono inoltre separate da diverse pareti in muratura.

Aspetti inerenti all'inquinamento elettromagnetico

L'impiego del gap-filler a livello indoor costituisce una potenziale fonte d'inquinamento elettromagnetico; è quindi importante accertare se possono sorgere problemi circa il rispetto della normativa vigente relativamente ai limiti di campo e.m. tollerati. Questa valutazione è stata fatta tenendo conto dello scenario più generale in cui tutti i canali r.f. disponibili in area di servizio vengano reirradiati indoor mediante una schiera di gap-filler (di potenza 2 mW ciascuno) installati nell'edificio.

E' stata pertanto effettuata una valutazione teorica dei livelli di campo elettromagnetico (in campo lontano) ottenibili nelle seguenti ipotesi:

guadagno di antenna G_t = 4 dBi. (è il caso peggiore di guadagno di antenna utilizzato durante le prove; è un valore verosimile per una piccola antenna a banda larga)

potenza per canale r.f. P_t = 2 mW

numero di canali r.f.
reiirradiati N = 20

Le limitazioni di base per l'esposizione ai campi elettromagnetici sono state inizialmente stabilite da Organismi internazionali, come il WHO (*World Health Organisation*); successivamente le autorità nazionali hanno convertito tali indicazioni in disposizioni di legge che tengono conto anche delle realtà locali, là dove necessario. I principali Standard, attualmente, provengono dalla Commissione Internazionale per la Protezione da Radiazioni Non Ionizzanti (*International Commission for Non Ionising Radiation Protection*), ICNIRP (già IRPA) [6]; in Europa opera il CENELEC, Commissione per gli standard elettrotecnici [7]; in Italia, il Comitato Elettrotecnico Italiano, CEI, si è uniformato allo Standard Europeo [8]; recentemente i limiti stabiliti in ambito nazionale nell'ultimo standard sono stati ulteriormente ristretti attraverso un Decreto Legge ad hoc [9].

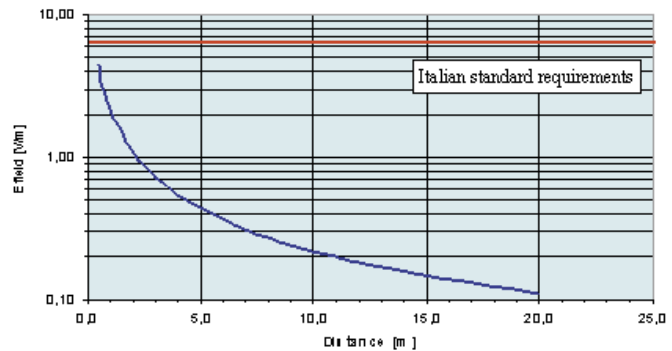



Fig. 6 - Campo elettrico [V/m] in funzione della distanza [m] dall'antenna trasmittente del gap-filler (Gt= 4, Pt= 40mW).

La Figura 6 indica il livello del campo e.m. valutato nelle ipotesi precedenti in funzione della distanza dall'antenna trasmittente del gap-filler. Confrontando i valori della curva con quello di riferimento della normativa nazionale (6 V/m) è possibile concludere che l'utilizzo dei gap-filler, nella configurazione proposta (20 canali DVB-T reirradiati), può soddisfare i limiti tollerati di esposizione umana definiti dalla normativa vigente, purché venga rispettata una distanza di guardia dell'ordine di un metro.

2.3 Probabilità di copertura su un'area ristretta

Come si è detto in precedenza i risultati della prima fase di sperimentazione indoor sono stati ottenuti in condizioni ottimali in quanto l'antenna ricevente dell'apparato portatile è stata orientata, entro un raggio di 20-30 cm, alla ricerca della migliore condizione di ricezione sul canale 28/UHF; tale ricerca, tuttavia, risulta assai complicata nelle vicinanze della soglia di ricezione, ossia in condizioni critiche dovute alla presenza di echi multipli. Inoltre va aggiunto che i test hanno evidenziato un'elevata sensibilità delle condizioni di ricezione al passaggio di persone attorno all'antenna, in modo particolare nei casi in cui il margine di ricezione era basso.

E' stata quindi condotta un'ulteriore sessione di misure (seconda fase) per valutare la probabilità di corretta ricezione nel caso più generale in cui non venga ottimizzato l'orientamento dell'antenna ad ogni cambio di sintonia del

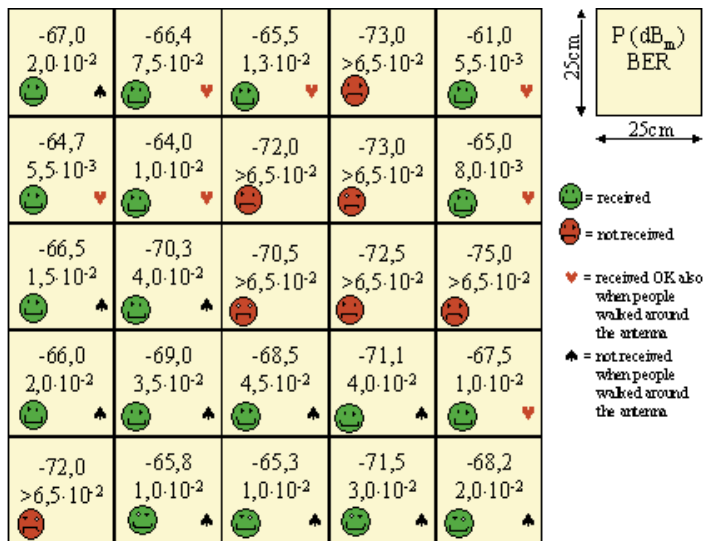



Fig. 7 - Esempio dei risultati relativi ad una “area critica”.

ricevitore su un nuovo canale r.f.; inoltre si è voluta accertare la sensibilità della ricezione dalla situazione al contorno, ad esempio in presenza di oggetti in movimento (persone e/o cose).

Le misure sono state effettuate su tre aree di forma quadrata (circa 1,5 x 1,5 metri) all’interno dell’edificio. In ciascuna di tali aree sono stati esaminati 25 punti (corrispondenti a settori quadrati di 25 x 25 cm) localizzati su di una griglia (Figura 7), valutando la potenza d’ingresso (Pin), il tasso d’errore (BER) e la qualità dell’immagine. Si noti che il BER alla soglia di corretta ricezione corrisponde a $6 \cdot 10^{-2}$.

Una delle tre aree quadrate è localizzata in un settore dell’edificio caratterizzato da notevoli difficoltà di ricezione; i risultati delle misure sono riportati, a titolo di esempio, in Figura 7. La simbologia adottata in tale figura illustra direttamente la qualità di ricezione in ciascuno dei 25 settori dell’area interessata, indicando anche i valori misurati di P_{in} e BER nonché la sensibilità della ricezione alla presenza di persone in movimento. Le valutazioni sono state effettuate con e senza il gap-filler.

Le altre due aree si trovano nella parte dell’edificio in vista del trasmettitore di Torino-Eremo; in tale caso, ovviamente, sono state valutate esclusivamente le prestazioni senza gap-filler in quanto la ricezione è normalmente buona.

La Tabella 3 riporta globalmente i risultati delle misure relativi alle tre aree considerate: le prime due colonne riguardano la ricezione diretta senza gap-filler (anche in presenza di persone in movimento intorno all’antenna), le seconde due includono il gap-filler. Si osservi come nell’area 1, dove la ricezione è più difficile, l’introduzione del gap-filler consente una copertura del 100%, in condizioni statiche al contorno, che scende all’80% in presenza di persone in movimento.

E’ possibile osservare come, quando il quadrato di misura è situato in un settore dell’edificio in cui il livello del segnale ricevuto è, in media, vicino alla soglia di ricezione, la percentuale di copertura (72%) non è significativamente inferiore rispetto agli altri due quadrati (76% e 80%), ma la ricezione risulta fortemente influenzata dal passaggio di persone attorno all’antenna.

Un ulteriore notevole risultato consiste nel fatto che un segnale di potenza media di -63,4 dBm (circa 10 dB superiore all’ETL) è sufficiente a garantire una copertura percentuale dell’80% in presenza di disturbi apportati dal passaggio di individui. Ciò dimostra che l’influenza sulla qualità di ricezione dovuta alla presenza di persone in movimento in prossimità dell’antenna si può quantizzare in un aumento di

Tab. 3 - Probabilità di copertura su un’area ristretta.

Coverage probability %				
Location Test ->	No gap-filler No people	No gap-filler People around	Gap-filler No people	Gap-filler People around
Square 1 (Diff. Reception)	72%	28%	100%	80%
Square 2 (Easy reception)	76%	52%	n.a.	n.a.
Square 3 (Easy reception)	80%	36%	n.a.	n.a.

potenza dell'ordine di 10 dB richiesta per ricevere correttamente, rispetto al caso di ricezione stazionaria senza riposizionamento dell'antenna.

L'impiego del gap-filler permette di risolvere il problema suddetto, aumentando sensibilmente la percentuale di punti con buona ricezione e limitando l'impatto delle persone che si muovono nell'intorno del ricevitore.

2.4 Influenza degli echi corti sulla qualità di ricezione

L'influenza sulla ricezione DVB-T di un eco corto e profondo (di livello comparabile al segnale principale) è un importante elemento di valutazione nella ricezione indoor, in quanto l'antenna omnidirezionale non consente di discriminare tali echi; questi sembrano, infatti, essere la causa principale della cattiva ricezione in molti punti.

Un eco corto, in ricezione portatile, può essere causato dalla riflessione del raggio principale contro le pareti o le persone circostanti. Prove preliminari, effettuate in presenza di echi corti, hanno evidenziato una ricezione cattiva o addirittura impossibile anche con livelli dell'eco tali da non determinare una riduzione della potenza totale ricevuta al di sotto dell'ETL.

La Figura 8 mostra lo spettro del segnale COFDM ricevuto in un punto in cui, nonostante l'elevato livello della potenza in ingresso al ricevitore (circa –66 dBm), la ricezione non risulta possibile a causa della notevole alterazione subita dallo spettro del segnale.

Per analizzare il problema, è stato allestito in laboratorio un test-bed apposito nel quale l'eco corto è stato generato grazie ad una lunghezza adeguata del cavo. La ricezione è stata valutata in presenza di un eco di alto livello con ritardo di 0,05 ms, 0,1 ms e 0,2 ms e con un rapporto segnale principale/segnale interferente (C/I) di 0 dB; la fase relativa dell'eco è stata variata da 0° a 330° a passi di 30°. Inoltre è stata misurata la condizione in assenza di eco, per fornire un riferimento per il calcolo del margine di rumore (NML). I risultati sono riportati in Figura 9 in termini di NML

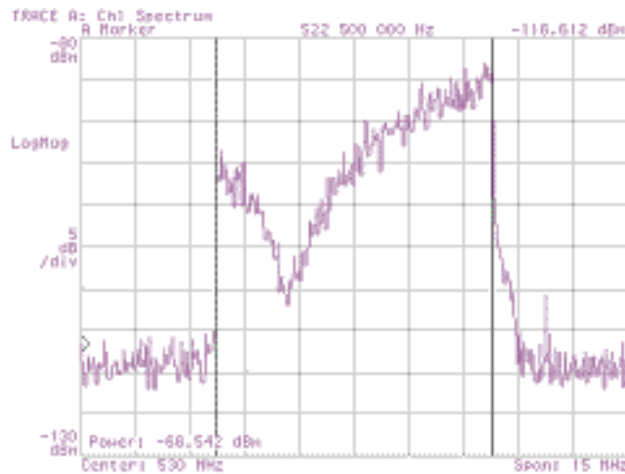



Fig. 8 - Spettro COFDM affetto da eco corto e profondo.

necessario nei vari casi per una corretta ricezione. E' chiara la relazione di proporzionalità inversa tra NML e qualità di ricezione, ossia con NML elevati è richiesto un C/N corrispondentemente più elevato rispetto al valore che caratterizza il sistema DVB-T in condizioni di ricezioni ideali.

Si osserva dai grafici di Figura 9 l'estrema variabilità della condizione di ricezione in funzione del ritardo e della fase dell'eco. Con un ritardo maggiore di 500 ns, non riportato in Figura 9, il NML è risultato di circa 7 ÷ 9 dB, valori sostanzialmente identici a quelli ottenuti nelle prove di laboratorio [10] Nota6 relative a ritardi dell'eco superiori a 500 ns. Con un ritardo inferiore a 500 ns, il NML dipende fortemente dalla fase dell'eco; il valore massimo del NML risulta superiore di 4-5 dB rispetto ai risultati ottenuti in [10]. Per verificare tali risultati e per

Nota 6. Cfr. §2.2

Fig. 9 - Effetto degli echi corti sul margine di ricezione (risultati di laboratorio).

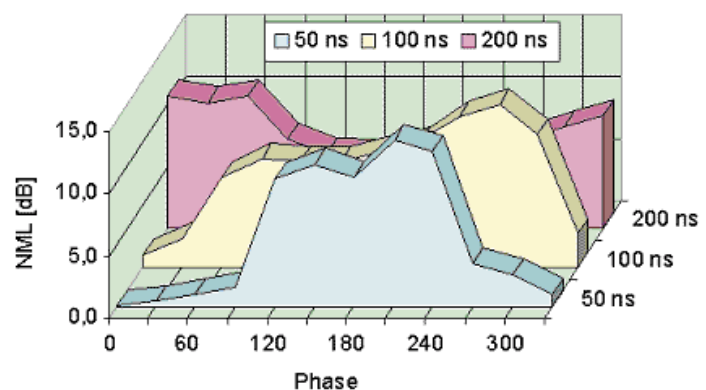
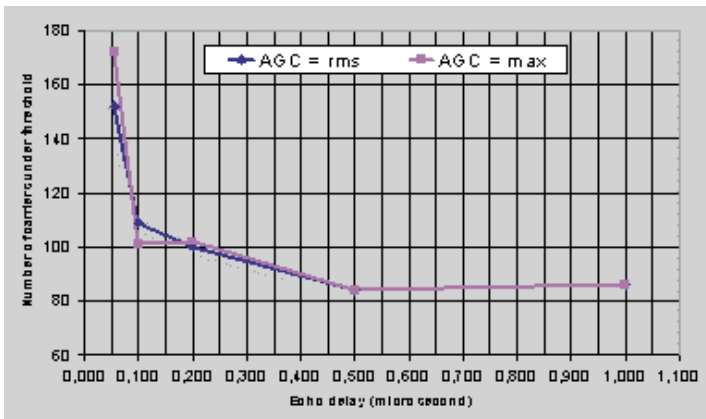



Fig. 10 - Numero di portanti COFDM sottosoglia.

comprendere l'origine dell'incremento del NML si è effettuata una simulazione al calcolatore utilizzando il software TOPSIM-IV con modello Nota7 di simulazione del segnale DVB-T.

Nota 7.
Il modello di simulazione DVB-T, sviluppato da Rai-CRIT, è stato completamente validato in ambito al progetto europeo SPASE.

Una prima simulazione è stata necessaria per capire se il numero di portanti dello spettro OFDM il cui livello, per effetto dell'eco corto, si trova al di sotto di una certa soglia, sia maggiore rispetto al caso di un eco più lungo di pari livello (C/I = 0dB), ovviamente contenuto all'interno dell'intervallo di guardia della configurazione DVB-T adottata (28µs nel caso 8K). Per verificare tale ipotesi si è effettuato il conteggio del numero di portanti OFDM il cui livello, per effetto dei buchi in frequenza, si trova al di sotto di una soglia arbitraria di 20 dB. Tale simulazione ha tenuto conto che il numero di portanti sotto-soglia dipende dalla fase dell'eco, perché parte dei buchi nello spettro può cadere al di fuori del canale; è stato, dunque, considerato il valore massimo di portanti sotto soglia (fase peggiore). Nella simulazione sono stati utilizzati, inoltre, due tipi diversi di Automatic Gain Control (AGC): il primo basato sulla valutazione della potenza in banda del segnale (indicata in "rms"), e l'altro basato sul valore di picco ("max"). In Figura 10 sono illustrati i risultati di tale simulazione nei due casi.

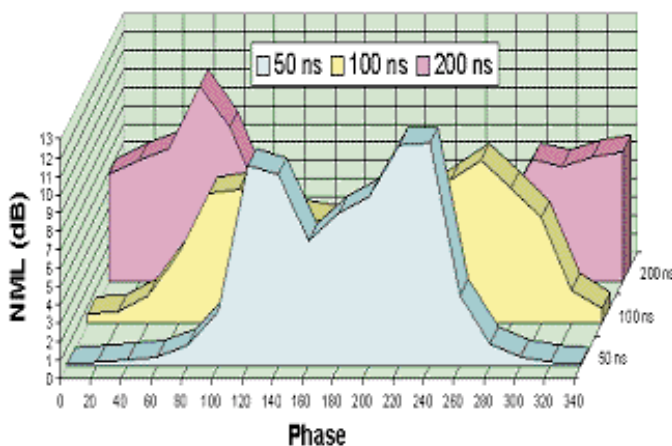



Fig. 11 - Effetto degli echi corti sul margine di ricezione (simulazione al calcolatore).

Il numero di portanti del segnale COFDM sotto soglia cresce rapidamente in ragione inversa del ritardo dell'eco. Quando il ritardo supera 500 ns il numero di portanti tende a stabilizzarsi e risulta indipendente dalla fase. Sono state condotte ulteriori simulazioni, con valori di soglia diversi: il numero di portanti "soppresse" è ovviamente variato, ma l'andamento con il ritardo dell'eco è rimasto lo stesso.

Per valutare il NML generato dalle portanti soppresse per ciascun ritardo dell'eco, è stato simulato il sistema completo DVB-T variando la fase dell'eco con un intervallo di 20°. I risultati di tale simulazione sono riportati in Figura 11.

Dal confronto tra le Figura 9 e 11 si osserva una notevole corrispondenza fra i risultati delle prove di laboratorio e quelli ottenuti con simulazioni al calcolatore, il che conferma l'attendibilità di queste valutazioni.

In conclusione, sulla base dei risultati delle prove di ricezione portatile indoor, delle misure di laboratorio e delle simulazioni al calcolatore si trae l'indicazione che la presenza di echi corti di ampiezza elevata, che spesso s'incontrano nella ricezione "indoor" con antenna omindirezionale, comporta un incremento di 5 ÷ 6 dB del margine richiesto per una corretta ricezione (NML) rispetto al caso di echi lunghi, che spesso influenzano la ricezione "in aria", che è stata oggetto di precedenti valutazioni in laboratorio [10].

2.5 Sistema di Antenna Indoor a Diversity (IDA)

Le conclusioni a cui si è giunti nei paragrafi precedenti per la ricezione indoor mostrano che, qualora non si ottimizzi la posizione del-

l'antenna ricevente ad ogni cambio di sintonia, si può avere una copertura del servizio insufficiente anche quando il livello del campo e.m. è tale da poter garantire una buona ricezione in accordo con le previsioni EBU [4] Nota8. Tuttavia, quando saranno disponibili in area più canali DVB-T, sorgerà la necessità di un continuo aggiustamento della posizione dell'antenna durante lo "zapping" tra i vari canali Nota9 per ottimizzare la ricezione.

Una possibile soluzione per recuperare il degradamento del margine di ricezione potrebbe essere quella di incrementare il valore di campo e.m. disponibile indoor utilizzando un gap-filler, come trattato in precedenza (paragrafo 2.2)

Un'altra contromisura, che non comporta l'aumento del campo e.m., è costituita dall'impiego di un sistema di ricezione con antenne multiple (due o più), ad esempio del tipo a "diversity spaziale", che ottimizza automaticamente la condizione di ricezione. Tale tecnica, ben nota e ampiamente applicata in sofisticati sistemi di telecomunicazione (collegamenti radio, stazioni radio-base della telefonia cellulare, comunicazioni militari, ecc.), è stata proposta anche per applicazioni di ricezione mobile DVB-T, per le quali è stato sviluppato un dispositivo sofisticato comprendente due antenne riceventi, un doppio tuner e doppio demodulatore COFDM [11], ed il relativo sistema di controllo.

E' stato dimostrato come tale tecnica, che richiede purtroppo sostanziali modifiche ai ricevitori commerciali, sia alquanto efficiente anche in modalità di trasmissione 8k Nota10 ed in condizioni di elevata velocità del veicolo. Tuttavia, la complessità hardware del ricevitore e l'inevitabile incidenza sul costo potrebbe pregiudicare l'introduzione sul mercato di nuovi ricevitori DVB-T dotati di tale sistema "integrato", almeno nel breve periodo. Un approccio differente Nota11, più semplice e indirizzato specificamente verso la ricezione indoor, è stato sviluppato dal Centro Ricerche Rai (CRIT); esso utilizza due (o più) antenne riceventi e conserva invariata la struttura del ricevitore DVB-T esistente e può, a tutti gli effetti, essere considerato un accessorio economico per i ricevitori commerciali standard.

Descrizione del sistema IDA

Il principio di base del sistema IDA (Indoor Diversity Antenna) è il seguente: dato un sistema ricevente caratterizzato da una combinazione di più antenne fisiche elementari (N) poste fra loro ad una distanza ravvicinata (tipicamente dell'ordine di 1/8 della lunghezza d'onda, l, della frequenza del canale r.f., o superiore), un circuito di controllo valuta la risposta spettrale in banda relativa a ciascuna antenna separatamente, individua quella caratterizzata dalla migliore condizione di ricezione ed invia automaticamente il corrispondente segnale all'ingresso del ricevitore DVB-T. Le varie antenne (o posizioni) sono individuate da un "contrassegno" che indica il grado di qualità del segnale ricevuto. Una soluzione equivalente può essere realizzata impiegando una singola antenna la cui posizione viene variata in modo continuo all'interno dell'area circostante il ricevitore.

La soluzione più semplice, dal punto di vista della complessità hardware, consiste nell'integrare all'interno del ricevitore DVB-T il sistema di analisi/decisione, e far sì che si ottenga l'informazione sulla qualità del segnale ricevuto (ad esempio BER, MER, esatta sincronizzazione ecc.) direttamente dal demodulatore COFDM. In tal caso, l'aggiunta a livello hardware consisterebbe semplicemente nel circuito di analisi/decisione e nell'antenna multipla (o singola mobile). Per contro, un sistema esterno e indipendente, ha il vantaggio di poter essere interconnesso a qualsiasi ricevitore disponibile sul mercato, fornendo una soluzione immediatamente applicabile. Naturalmente, in quest'ultimo caso, è necessario adottare nel modulo esterno un sistema di analisi più complesso per la valutazione della qualità del segnale ricevuto, in quanto tale risorsa non è più fornita direttamente dal ricevitore. Tale soluzione, che evita di ricorrere ad un ricevitore DVB-T di nuova generazione, richiede l'aggiunta di un sintonizzatore TV ed un semplice circuito analogico per la conversione del segnale r.f. a frequenza intermedia (IF). Rai-CRIT ha pro-

Nota 8.
I test di laboratorio hanno confermato i valori riportati sulle tabelle EBU per la ricezione portatile, nel caso in cui la posizione dell'antenna ricevente venga ottimizzata.

Nota 9.
Ovviamente ciò non accade nello zapping fra programmi appartenenti allo stesso bouquet poiché la frequenza di canale è la medesima; pertanto la risposta del canale non cambia.

Nota 10.
La configurazione 8K portanti OFDM non è di per sé ottima per la ricezione mobile in quanto la notevole durata del simbolo non consente di inseguire le variazioni rapide del campo e.m. La configurazione a 2K portanti consente di superare tale inconveniente, a scapito però di una maggiore vulnerabilità agli echi lontani presenti nelle reti SFN.

Nota 11.
Brevetto Rai-CRIT

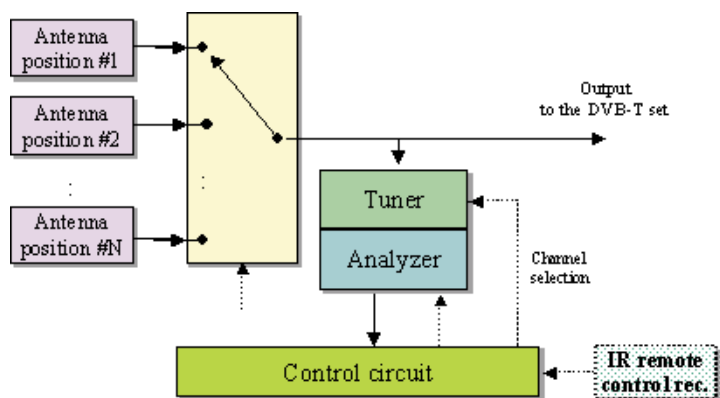



Fig. 12 - Schema a blocchi del sistema di ricezione a diversity spaziale (IDA).

gettato e realizzato un prototipo sperimentale di tale sistema IDA e ne ha successivamente verificate le prestazioni in una campagna di prove di ricezione indoor.

Il sistema prototipale è stato realizzato utilizzando N=4 antenne riceventi gestite da un apposito circuito di controllo, come si vede in Figura 12 che rappresenta lo schema a blocchi semplificato del dispositivo. L'algoritmo adottato effettua l'analisi del segnale ricevuto, convertito in IF, per mezzo di filtraggio e campionamento nel dominio della frequenza. L'analisi nel dominio della frequenza è effettuata su ciascuna di tre sottobande, in cui viene spezzato lo spettro del segnale COFDM, valutando il degradamento subito dalle portanti relative secondo i criteri illustrati nel paragrafo 2.4. (effetto degli echi corti e profondi, numero di portanti OFDM sotto soglia, ecc.). La decisione sul segnale da inviare al ricevitore DVB-T viene quindi presa dal confronto con le risposte relative alle quattro antenne.

La Figura 13 mostra il solido d'irradiazione del sistema di antenne prototipale alla frequenza centrale del canale 28 UHF (530 MHz) con uno solo degli elementi attivati. Da tale figura risulta evidente la caratteristica di direzionalità presentata dal sistema d'antenna.

L'algoritmo sviluppato via software nell'analizzatore e nel circuito di controllo costituisce il "cuore" del sistema IDA; il primo include un filtro sintonizzabile in tensione, seguito da un misuratore di potenza, mentre il secondo è implementato in un micro-controllore general-purpose, caratterizzato da un convertitore D/A e A/D a 8 bit integrato. La prevista introduzione di un telecomando permetterà al sistema di effettuare la selezione del canale nello stesso istante in cui il televisore riceve il comando di cambio sintonia dall'utente.

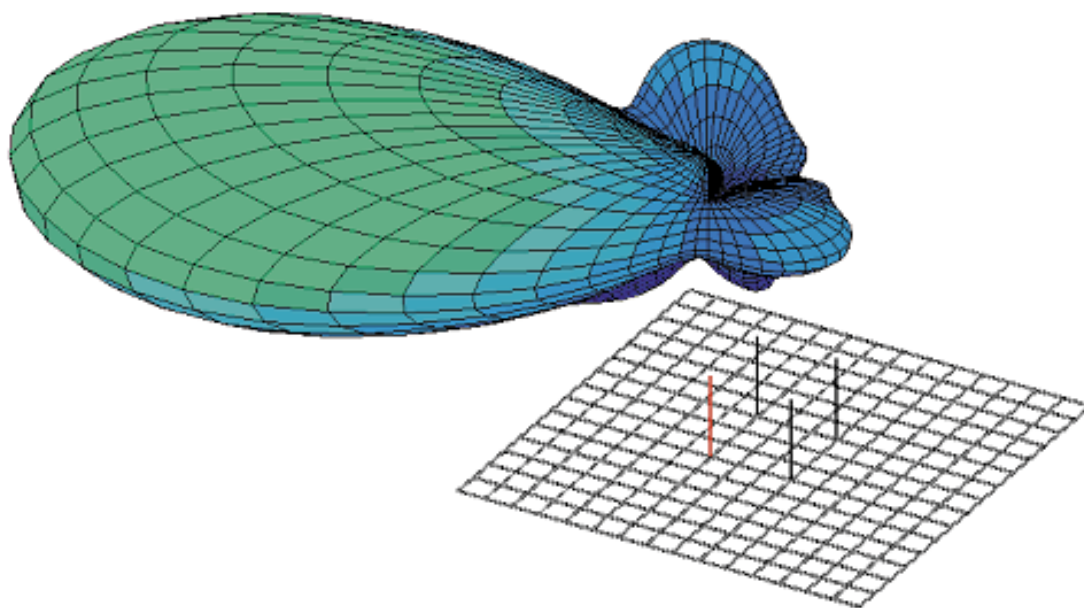



Fig. 13 - Sistema IDA: solido d'irradiazione alla frequenza f = 530 MHz.

Prestazioni del sistema IDA nella ricezione indoor

L'efficacia del sistema IDA nella versione prototipale è stata valutata tramite prove di campo all'interno dell'edificio di Rai-CRIT; le valutazioni sono state effettuate considerando aree quadrate di dimensioni 1.5x1.5m, caratterizzate ciascuna da una griglia di 25 posizioni di misura, analogamente a quanto già effettuato nel corso delle precedenti prove di campo per ricezione portatile indoor (vedi § 2.3).

Le valutazioni sono state effettuate in sei aree quadrate, situate in varie stanze dell'edificio, per un totale di 150 misure relative ciascuna a una micro-area di 25x25 cm. In ciascuna micro-area si sono valutati i vari parametri (BER, potenza del segnale, margine di ricezione, risposta spettrale) per poter stabilire la qualità di ricezione del segnale; successivamente è stato valutato e controllato il "contrassegno" assegnato dall'algoritmo a ciascuna delle micro-aree. A titolo di esempio sono riportate in Figura 14 quattro micro-aree con i relativi parametri; il contrassegno individua tre livelli di qualità di ricezione individuati con i colori: rosso=impossibile, giallo=critica, verde=buona.

L'attendibilità della stime effettuate dall'algoritmo è stata oggetto di verifiche sperimentali condotte nel corso delle prove di campo.

Il prototipo dell'IDA con N=4 antenne è in grado di scegliere tra quattro posizioni dell'antenna, e quindi ciascuna di esse ne ha a disposizione altre tre in cui potersi spostare. Dunque, ciascuna delle 25 posizioni di ogni superficie quadrata è stata presa in esame unitamente alle sue tre adiacenti, e il calcolo statistico della probabilità di copertura è stato effettuato a partire dal contrassegno, in colore, fornito dall'algoritmo delle quattro micro-aree secondo il criterio sopraindicato.

I risultati sono riportati in Tabella 4 da cui risulta evidente il sensibile miglioramento apportato dal sistema IDA che consente una probabilità di copertura del 100% pressoché su tutte le aree dell'edificio.

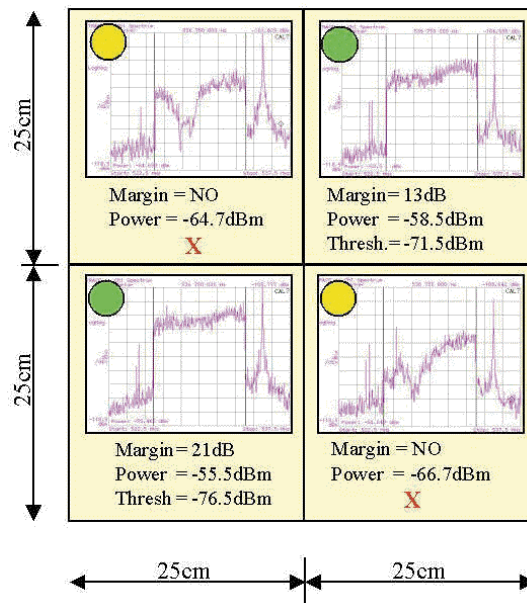



Fig. 14 - Esempio di test su quattro posizioni adiacenti.

Si noti che in Tabella 4 la copertura percentuale si riferisce ai contrassegni "giallo" e "verde".

Un ulteriore beneficio apportato dal sistema di ricezione a diversity spaziale IDA si riscontra nella fase di "zapping" ossia di ricerca della sintonia su un nuovo canale r.f. Come si è visto al § 2.1. con una semplice antenna ricevente omnidirezionale è necessario, in generale, riposizionare l'antenna per la migliore condizione di ricezione ad ogni cambio di canale r.f. Nel caso di più canali DVB-T (che saranno disponibili nella fase di regime del servizio) la probabilità di corretta ricezione senza ripo-

Tab. 4 - Risultati sulla probabilità di copertura.

TEST#	No-IDA Coverage	IDA coverage	Coverage Improvement
Square1	80%	100%	20%
Square2	96%	100%	4%
Square3	68%	100%	32%
Square4	100%	100%	0%
Square5	60%	92%	32%
Square6	88%	100%	12%

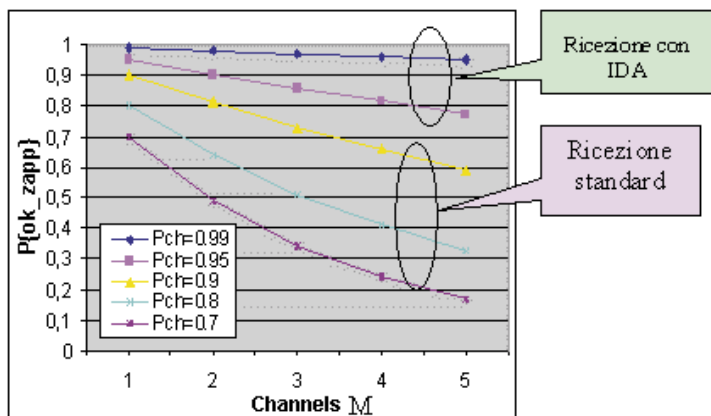



Fig. 15 - Probabilità di corretta ricezione, dopo lo zapping.

sizionare l'antenna (P{ok_zapp}), durante lo "zapping" tra i diversi bouquet di programmi, si riduce notevolmente.

Definiamo tale probabilità come:

$$P\{ok_zapp\} = P_{ch.1} \cdot P_{ch.2} \cdot \ldots \cdot P_{ch.M} = \prod_{i=1}^{M} P_{ch.i}$$

dove $P_{ch.1}, \ldots P_{ch.M}$ rappresentano la probabilità di corretta ricezione per ciascun canale senza riposizionamento dell'antenna.

E' possibile osservare che P{ok_zapp} diminuisce rapidamente anche per bassi valori di M, se le probabilità di corretta ricezione dei singoli canali r.f. sono basse.

Per esempio, se le probabilità di copertura sono uguali per tutti1 i canali r.f., vale a dire $P_{ch.i}=P_{cov}$, allora:

$$P\{ok_zapp\} = \prod_{i=1}^{M} P_{ch.i} = P_{cov}^{M}$$

L'andamento della probabilità P{ok_zapp} di corretta ricezione dopo lo zapping, e senza riposizionamento dell'antenna ricevente, decresce esponenzialmente con il crescere del numero di canali (M), come indicato in Figura 15.

Come si può osservare dalla Figura 15, nel caso di M=3 canali r.f. disponibili in area – come si prospetta in Italia nella fase di lancio della DVB-T – ed assumendo una probabilità di copertura P_{cov}=0.8, vicina a quanto ricavato nelle prove di campo, ci si dovrebbe attendere di dover riposizionare l'antenna ricevente per il 50% delle operazioni di zapping fra i tre canali.

Con il sistema IDA invece – grazie alla maggiore copertura consentita - è possibile aumentare sensibilmente la probabilità di corretta ricezione dopo lo zapping P{ok_zapp}. Assumendo una probabilità di copertura P_{cov}=0.95, secondo le indicazioni fornite dalle prove di campo, è possibile raggiungere una probabilità P{ok_zapp} pari a circa l'85%; di conseguenza verrebbe limitata al 15% dei casi la necessità di riposizionare l'antenna ricevente.

3. Conclusioni

E' stata effettuata una prima campagna di prove tecniche per valutare la qualità di ricezione del segnale DVB-T (nella configurazione 64QAM, rate 2/3) all'interno dell'edificio del Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica della RAI. Sono state globalmente effettuate 140 misure su due piani dell'edificio nelle seguenti condizioni:

- ricezione diretta con antenna omnidirezionale (a baffo)
- impiego di un rice-trasmettitore isofrequenziale (gap-filler), installato al 2° piano dell'edificio, e ricezione con antenna omnidirezionale
- impiego di un sistema di ricezione a diversità di spazio (sistema IDA).

La ricezione diretta con antenna direttiva posizionata a circa 10 m a.g.l., effettuata all'inizio della campagna, ha consentito di verificare la

buona qualità di ricezione fuori dell'edificio; si è riscontrato un margine di ricezione alla soglia di errore (QEF) di circa 35 dB, in sostanziale accordo con le previsioni di campo.

Le prove di ricezione indoor hanno consentito di pervenire alle seguenti conclusioni:

- La ricezione portatile con antenna a "baffo"– previa ottimizzazione manuale della posizione dell'antenna – è risultata possibile in circa l'85% dei casi.

- La qualità di ricezione è sensibilmente influenzata dalla presenza di persone / oggetti in movimento nelle vicinanze dell'antenna ricevente.

- In generale, l'antenna deve essere riposizionata ogni qual volta si cambi canale r.f.

- Le infrastrutture in muratura dell'edificio introducono una attenuazione del livello del campo e.m. ricevuto (Building Penetration Loss, BPL) dell'ordine di 7 dB (al secondo piano) e 4,6 dB (al 1° piano).

- L'utilizzo di un gap-filler a bassa potenza (2mW) garantisce una ricezione portatile indoor in tutto l'edificio (100%), previa ottimizzazione della posizione dell'antenna ricevente. La presenza di persone in movimento intorno al ricevitore riduce la copertura del servizio all' 80% circa.

- La presenza di echi corti e profondi (di livello comparabile con il segnale principale), essenzialmente dovuti alle riflessioni dell'ambiente circostante, possono degradare sensibilmente la qualità di ricezione. Misure di laboratorio e simulazioni al calcolatore hanno dimostrato che un eco corto e profondo provoca una riduzione del margine di rumore (NML) dell'ordine di 7 ÷ 9 dB.

- In via teorica, l'utilizzo di una schiera di 20 gap-filler da 2mW (per reirradiare ciascuno un canale r.f. DVB-T) risulta compatibile con i limiti di esposizione ai campi elettromagnetici stabiliti dalla legislazione vigente, a condizione che venga rispettata una zona di guardia intorno all'antenna trasmittente. In Italia, per rispettare i limiti previsti, tale zona non dovrebbe essere inferiore a 0.50 metri.

- L'utilizzo di un'antenna ricevente a diversity spaziale di nuova concezione (IDA) si è dimostrata molto efficace permettendo di migliorare le prestazioni della ricezione portatile indoor, innalzando la probabilità di copertura al 100% dell'edificio.

Bibliografia

1. M. Cominetti, A. Morello, R. Serafini: "Prospettive per l'introduzione della televisione digitale terrestre in Italia". Elettronica e Telecomunicazioni, n°3 dicembre 1999.
2. P. B. Forni, S. Ripamonti, V. Sardella: "Sperimentazione pre-operativa DVB-T in area di servizio". Elettronica e Telecomunicazioni, n°1 gennaio 2002.
3. European Conference of Postal and Telecommunication Administrations: "The Chester 1997 multilateral coordination agreement relating to technical criteria, coordination principles and procedures for the introduction of Terrestrial Digital Video Broadcasting (DVB-T)"; Chester Conference 1995.
4. European Broadcasting Union: "Terrestrial Digital Television planning and implementation considerations"; BNP 005 Second Issue, 1997.
5. B. Wergeland, S. Bergsmark: "Report on indoor field strength", Teracom R&D department; Spring 1997.

6. ICNIRP: “Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300GHz)”, 1996.
7. CEENELEC ENV 50166-2: “Human exposure to electromagnetic fields”, High frequency (10kHz-100GHz)”, November 1994.
8. CEI 111-3 (ENV 50166-2): “Esposizione umana ai campi elettromagnetici”, Alta frequenza (10kHz-100GHz), May 1995.
9. Decreto Legge n.381 del 10/9/98,
10. A. Bertella, B. Sacco, M. Tabone: “Valutazioni in laboratorio del sistema DVB-T per la televisione digitale terrestre”. Elettronica e Telecomunicazioni, n°1 gennaio 2002.
11. E. Launay, J. Hammerschmidt, J. Rinne – “Antenna diversity technique for mobile and portable receivers”, IBC99, Amsterdam.

Ricezione DVB-T negli impianti centralizzati d'antenna

ing. Davide Milanesio,
p.i. Gian Paolo Placidi,
ing. Vincenzo Sardella

Rai - Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica
Torino

Sommario

L'articolo riporta i principali risultati della sperimentazione sulla ricezione del segnale di televisione digitale terrestre (DVB-T) tramite impianti centralizzati d'antenna eseguita presso il Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica della Rai. La sperimentazione è stata effettuata sia in laboratorio, tramite una serie di impianti centralizzati appositamente sviluppati, che in campo, tramite una campagna di misure sulla ricezione negli impianti centralizzati d'antenna dell'area torinese del segnale DVB-T diffuso dal trasmettitore di Torino-Eremo. Vengono inoltre sottolineati i contributi alla definizione della specifica normativa ed alla diffusione presso gli operatori del settore ed il grande pubblico, fruitore dei servizi, delle problematiche di qualità degli impianti di ricezione televisiva.

1. Introduzione

Accanto ai sistemi riceventi individuali, gli impianti centralizzati d'antenna rappresentano una importante modalità per la ricezione e la distribuzione di segnali televisivi e radiofonici ad un certo numero di abitazioni, all'interno di uno stesso edificio o in edifici adiacenti. Gli impianti centralizzati d'antenna sono anche conosciuti come sistemi MATV (Master Antenna Television) e SMATV (Satellite Master Antenna Television). I primi vengono usati per la distribuzione dei segnali terrestri, mentre nei secondi vengono distribuiti i segnali ricevuti da satellite, eventualmente combinati con i segnali terrestri. Essi rappresentano un mezzo per la condivisione delle risorse tra diversi utenti ai fini della fruizione dei servizi e possono contribuire alla valorizzazione dell'edificio e dei singoli appartamenti [1],[2].

Da valutazioni effettuate in passato si stima che circa il 50% dell'utenza italiana (circa 10 milioni di famiglie) riceva la televisione terrestre nelle bande VHF e UHF tramite impianti centralizzati d'antenna. In un contesto europeo, secondo una indagine statistica effettuata dal Progetto Europeo S3M (Satellite Master Antenna Systems in the 3rd Millennium), gli impianti MATV e SMATV presentano una penetrazione del 27% nell'Europa occidentale, corrispondente a 37 milioni di utenti. La stima per tutta l'Europa è di 54 milioni di utenti [3].

In Italia l'introduzione sistematica di impianti centralizzati condominiali è fortemente incoraggiata dal punto di vista normativo. La Legge Maccanico (N° 249 del 31 luglio 1997, art. 3, comma 13) indica infatti che, a partire dal mese di gennaio 1998, per la ricezione della TV satellitare tutti gli immobili di nuova costruzione, quelli soggetti a ristrutturazione generale e quelli posti nei Centri storici (secondo Piani Comunali di successiva definizione) devono avvalersi di antenne collettive. La Legge n. 66 del 20 marzo 2001 ha poi introdotto un ulteriore incentivo allo sviluppo e alla diffusione delle tecnologie di ricezione collettiva considerando le opere di installazione di nuovi impianti come "innovazione necessaria" ai sensi dell'art. 1120 del Codice Civile.

L'adeguamento tecnologico degli impianti centralizzati d'antenna è stato negli anni passati oggetto di studi e sperimentazioni a cui il Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica della Rai ha attivamente contribuito, anche nell'ambito di progetti europei di ricerca. Questi studi hanno condotto da un lato alla emanazione di normative europee (ETSI) ed internazionali (ITU-T) e da un altro lato allo sviluppo, da parte delle industrie del settore, dei componenti che rendono possibile la ricezione collettiva dei servizi via satellite [4]. La citata legge 66 sancisce inoltre l'avvio della sperimentazione per il nuovo servizio di Televisione Numerica (o Digitale) Terrestre (DVB-T) e stabilisce per il 2006 la data del passaggio definitivo dal sistema di trasmissione analogico a quello digitale.

In uno scenario evolutivo, che ha visto da alcuni anni una crescita e una diversificazione dei servizi televisivi e multimediali offerti via satellite [5], la televisione digitale terrestre (DVB-T) potenzierà ulteriormente il servizio televisivo in termini quantitativi e qualitativi, portando tutti i vantaggi delle tecnologie digitali

Canale	Modulazione	Bit-rate (Mbps)	ERP (W)	Polarizz.
28	16QAM; 2k; 1/2; 1/32	12,06	300	V
66	64QAM; 8k; 2/3; 1/32	24,13	2000	H

Tab. 1 - Caratteristiche dei segnali DVB-T in diffusione dal trasmettitore di Torino -Eremo.

sul televisore domestico. In questo contesto la ricezione SMATV/MATV assume una importanza strategica per la diffusione presso il grande pubblico dei nuovi servizi televisivi e multimediali.

Al fine di individuare le problematiche relative alla ricezione del segnale DVB-T tramite impianti centralizzati d'antenna sono state condotte approfondite indagini sia teoriche che sperimentali su impianti centralizzati realizzati in laboratorio con differenti tecniche di amplificazione e distribuzione. Successivamente è stata condotta una campagna di misure sulla ricezione negli impianti centralizzati d'antenna dell'area torinese del segnale DVB-T diffuso dal trasmettitore di Torino-Eremo. Il Centro Trasmittente di Torino-Eremo irradia due bouquet DVB-T, uno sul canale 66 (f_c = 834 MHz), l'altro sul canale 28 (f_c = 530 MHz). I due bouquet DVB-T, comprendenti inoltre servizi multimediali, vengono generati presso CRIT e trasportati al Centro Trasmittente su rete SDH in tecnologia ATM [6].

Le caratteristiche dei segnali in diffusione sui due canali 28 e 66 sono riportate nella tabella 1. Il canale scelto per la campagna di misure è stato il 66, in quanto diffuso in polarizzazione orizzontale e quindi compatibile con le antenne riceventi degli impianti centralizzati.

La presenza del segnale DVB-T nell'area torinese ha quindi reso possibile la sperimentazione in ambienti di ricezione reali.

L'articolo riporta i principali risultati della sperimentazione in laboratorio e della campagna di misure effettuata sugli impianti reali in area di servizio.

Il Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica della Rai, in virtù della esperienza maturata dalle attività di studio e sperimentazione e dalla partecipazione diretta allo sviluppo degli standard DVB, ha inoltre contribuito sia alla definizione della specifica normativa [7] che alla diffusione presso gli operatori del settore ed il grande pubblico, fruitore dei servizi, delle problematiche di qualità e sicurezza degli impianti di ricezione televisiva, con l'obiettivo primario di promuovere il miglioramento degli impianti di distribuzione via cavo nelle abitazioni degli italiani [8].

Tab. 2 - Caratteristiche degli impianti centralizzati sviluppati in laboratorio.

Rete	Numero di piani	Numero di colonne	Numero di utenti	Topologia	Tipo dei derivatori	Intervallo di frequenze
A	5	1	10	Parallela	Resistivi (migliori)	Terrestre
B	5	1	10	Parallela	Resistivi (medi)	
C	10	1	20	Parallela	Induttivi	
D	10	1	10	In cascata	Induttivi	
E	5	1	10	Parallela	Resistivi (peggiori)	
F	10	4	80	Parallela	Induttivi	
G	10	4	80	Parallela	Induttivi	Terrestre + Satellite
H	6	4	48	Parallela	Induttivi	
P	5	1/4 cavi	40	Parallela	Attivi	

2. Principali risultati della sperimentazione di laboratorio

Mentre la ricezione dei segnali televisivi digitali da satellite negli attuali impianti MATV richiede un adeguamento tecnologico degli stessi, la ricezione della televisione digitale terrestre, diffusa nelle stesse bande VHF e UHF per cui sono stati progettati gli impianti d'antenna, nella maggior parte dei casi non dovrebbe richiedere specifici aggiornamenti all'impianto, grazie anche alla robustezza della modulazione COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing), scelta per il DVB-T, rispetto ad echi del segnale ed altri degradamenti [9].

La sperimentazione è stata effettuata tramite una serie di impianti centralizzati sviluppati in laboratorio, identici per componenti utilizzati e lunghezze di cavi ad impianti reali. Al momento sono stati realizzati 9 esemplari, utilizzando diverse topologie, componenti e tecniche di amplificazione (centralini larga banda o canalizzati) nel tentativo di rappresentare la complessa realtà degli impianti diffusi sul territorio. I primi sei utilizzano componenti adatti alla distribuzione terrestre (banda 47¸862 MHz), gli altri tre utilizzano componenti adatti anche per la distribuzione dei segnali satellitari, nella banda 0,95¸2,15 GHz. La tabella 2 sintetizza le loro principali caratteristiche.

In figura 1 è mostrato parte del test bed di laboratorio, mentre la figura 2 mostra il dettaglio di un banco di misura: sulla sinistra un centralino terrestre canalizzato, al centro la rete di distribuzione "G".

I risultati delle ricerche hanno fornito indicazioni sui livelli ottimali dei segnali DVB-T rispetto ai segnali analogici distribuiti nell'impianto, tenendo conto dell'intermodulazione tra i segnali e del rumore, sul comportamento degli attuali apparati attivi nei riguardi del segnale DVB-T e sulle caratteristiche dei nuovi amplificatori di canale per DVB-T.

Le prestazioni di sistema in funzione del livello dei segnali distribuiti nell'impianto sono state valutate con particolare riguardo alla coesistenza di segnali analogici e digitali durante il periodo di transizione.

Fig. 1 - Fotografia di parte del test-bed allestito presso il CRIT.

Sono state effettuate valutazioni teoriche e simulazioni al calcolatore tenendo conto di diversi scenari di penetrazione dei servizi DVB-T e utilizzando le caratteristiche di catalogo e misurate degli attuali amplificatori commerciali [10]. È stato valutato il rapporto C/I (Carrier to Interference) sia per i segnali analogici che per i segnali digitali in varie configurazioni di allocazione dei canali, livelli dei segnali digitali rispetto a quelli analogici, livello complessivo del multiplex all'uscita dell'amplificatore di potenza, punti di intercetto (IP: Intercept Points) dell'amplificatore.

I principali risultati possono essere così sin-

Fig. 2 - Dettaglio di un banco di misura.

tetizzati [11]:

- Livelli dei canali digitali compresi tra -10 dB e -18 dB rispetto ai canali analogici assicurano un C/I adeguato sia per i segnali analogici (standard CEI/CENELEC/IEC: C/I > 52 dB per segnali PAL) che per i segnali digitali (C/I > 32 dB per segnali OFDM con modulazione 64-QAM, rate 2/3).
- Un aumento del livello dei segnali digitali fino a -7 dB rispetto agli analogici potrebbe causare un peggioramento nel C/I dei segnali analogici.
- Le prestazioni degli attuali amplificatori di potenza a banda larga sono adeguate, purché il loro livello nominale di uscita non sia superato e vengano applicati i fattori di riduzione del livello d'uscita, in funzione del numero di canali, utilizzati normalmente per i segnali analogici.

Per quanto riguarda gli effetti del rumore, è stato verificato sperimentalmente che il livello ottimale dei segnali digitali deve essere al più 15 dB inferiore rispetto agli analogici adiacenti. Aumentando questo rapporto si introduce un degradamento sui canali digitali, che aumenta progressivamente.

In conclusione, i risultati di valutazioni teoriche, simulazioni al calcolatore e misure sperimentali indicano come ottimale un livello del segnale DVB-T nell'impianto dell'ordine di 10-15 dB inferiore ai segnali analogici.

2.2 Robustezza del segnale DVB-T alle distorsioni lineari

Gli effetti di echi multipli, dovuti a eventuali disadattamenti di impedenza tra i componenti dell'impianto, sono superati dalla robustezza della modulazione COFDM, capace di recuperare variazioni della risposta ampiezza-frequenza nel canale dell'ordine anche di oltre 10 dB in 8 MHz [9].

2.3 Sensibilità dei ricevitori commerciali rispetto alla stabilità in frequenza ed al rumore di fase.

Tra i vari degradamenti che possono essere introdotti da un impianto centralizzato, molto importanti, soprattutto per i segnali numerici, sono quelli relativi alla stabilità in frequenza ed al rumore di fase del segnale al ricevitore. Degradamenti su questi due parametri sono causati da fluttuazioni della fase o della frequenza di oscillatori, che potrebbero essere utilizzati in un impianto centralizzato d'antenna per la conversione in frequenza di canali. Al fine di determinare i valori limite di questi parametri che possono essere tollerati in un sistema di distribuzione via cavo, sono state condotte misure su un certo numero di Set-Top-Box commerciali e di televisori integrati (idTV: integrated digital TV). I risultati delle misure hanno contribuito alla definizione delle specifiche normative IEC/CENELEC sugli impianti di distribuzione via cavo [12],[13].

2.4 Requisiti sugli amplificatori (larga banda e di canale)

Per quanto riguarda gli amplificatori a larga banda, come detto in precedenza, l'indagine ha confermato che le prestazioni degli attuali apparati che soddisfano le norme CEI sono adeguate anche per i segnali DVB-T, a condizione che il livello nominale di uscita non venga superato e vengano utilizzati i normali fattori di riduzione del livello d'uscita all'aumentare del numero di canali.

Per quanto riguarda gli amplificatori di canale, sono state effettuate misure su prototipi di apparati commerciali progettati appositamente per la televisione digitale terrestre, confermando la loro adeguatezza in termini di larghezza di banda, guadagno, linearità, cifra di rumore, efficacia del controllo automatico di guadagno [14].

Analizzando la situazione spettrale in zone già servite dal DVB-T, è stato inoltre evidenziato come, per ragioni legate alla pianificazione delle frequenze e dei servizi, in alcuni casi il segnale numerico viene attualmente irradiato con potenze molto più basse rispetto ai canali analogici. Si veda, ad esempio, la situazione dell'area di servizio del trasmettitore di Crystal Palace in Londra dove un multiplex numerico viene irradiato con potenza di 28 dB inferiore al canale analogico adiacente superiore. In questi casi è richiesta all'amplificatore di ca-

nale una elevata selettività, tenendo conto che la banda del segnale numerico è di 7,6 MHz e che la distanza in frequenza tra la frequenza centrale di un canale digitale e la portante video del canale PAL adiacente superiore è di 5,25 MHz.

3. Campagna di misure in area di servizio

È stata condotta nell’area torinese un’indagine sulla ricevibilità del segnale DVB-T diffuso dal trasmettitore di Torino-Eremo (canale 66) negli impianti centralizzati d’antenna.

Sono state eseguite misure in 25 alloggi appartenenti a 23 impianti centralizzati, localizzati nell’area di servizio del trasmettitore a distanze comprese tra 5 e 20 km, per un totale di 35 prese d’utente.

Ad alcune prese utente di ciascun impianto è stata verificata la corretta ricezione del segnale DVB-T e misurato il margine sul livello al ricevitore. Per rendere più agevole la misura e consentire una rapida valutazione del margine sul livello del segnale al ricevitore è stato predisposto un apparato di misura consistente in un ricevitore professionale DVB-T preceduto da due attenuatori calibrati variabili a scatti. Nei casi di mancata ricezione si è inoltre provveduto alla individuazione delle cause di non ricezione, utilizzando l’opportuna strumentazione di laboratorio. In alcuni casi è stato possibile accedere al centralino dell’impianto per verificare se l’impianto adottasse un centralino canalizzato o a larga banda e per effettuare misure e verifiche sui segnali sia in antenna che all’uscita del centralino stesso.

Prima delle misure non sono stati effettuati interventi sull’impianto o sulle prese d’utente, e i sistemi di misura sono stati connessi direttamente ad una o più prese dell’impianto centralizzato esistente.

Parte dell’indagine è stata compiuta con la collaborazione di tecnici FRACARRO e degli installatori della locale area distributiva [15].

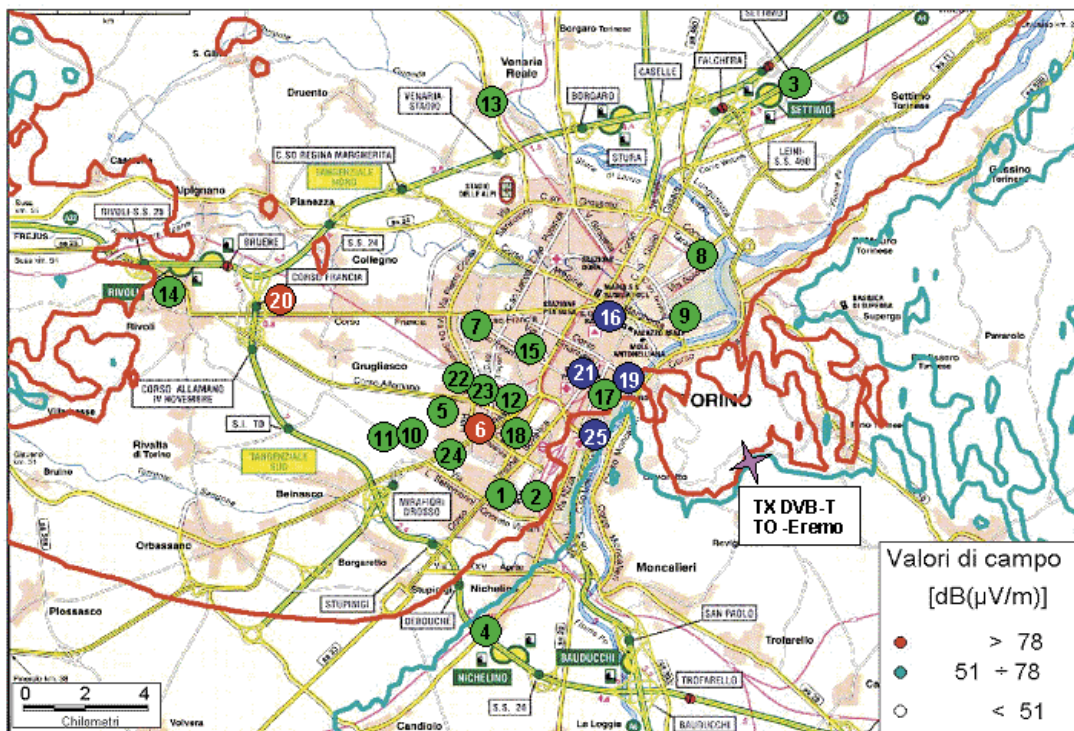



Fig. 3 - Impianti testati e area di servizio.

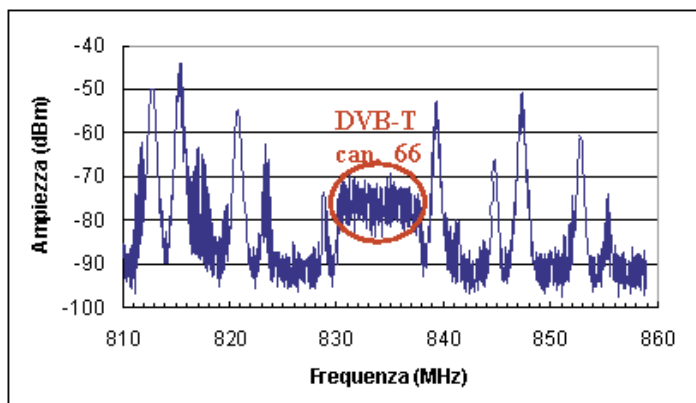



Fig. 4 - Spettro di potenza alla presa dell'alloggio n° 1.

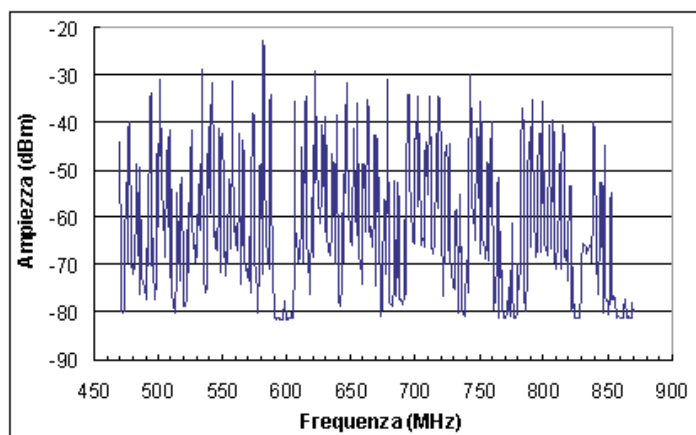



Fig. 5 - Spettro di potenza all'uscita dell'antenna dell'alloggio n° 17 (intera banda IV e V).

3.1 Sintesi dei risultati

Nella figura 3 è visualizzata l'area in cui sono state effettuate le indagini, con l'indicazione della posizione geografica degli impianti centralizzati. La figura dà anche una indicazione dell'attuale area di servizio del trasmettitore di Torino-Eremo. Si ricorda che, per il segnale DVB-T considerato, il valore minimo del campo elettromagnetico all'antenna ricevente per una corretta ricezione è di 48 dB(µV/m), mentre il campo minimo medio per avere una probabilità di copertura del 95 % in una piccola area è di 57,5 dB(µV/m) [16]. Ad esclusione di due punti di misura (alloggi 4 e 25), tutti gli altri erano all'interno dell'area di copertura con un livello di campo previsto maggiore di 78 dB(µV/m). Per questi punti si può quindi stimare un margine per la ricezione singola maggiore di 30 dB con statistica al 50% delle località, o maggiore di 20 dB con statistica al 95% delle località. Sono riportati in verde gli impianti con centralino a larga banda che hanno consentito la ricezione del DVB-T, in rosso gli impianti in cui non è stata possibile la ricezione ed in blu gli impianti con centralino canalizzato. La causa della mancata ricezione negli alloggi 6 e 20 è la presenza di un forte segnale interferente co-canale, come verrà documentato successivamente. L'impianto relativo all'alloggio 16 è stato dotato di un amplificatore canalizzato per il canale 66 e quindi è stato successivamente abilitato alla ricezione del segnale DVB-T.

3.2 Margine sul livello di ricezione

Nei casi di corretta ricezione sono stati misurati margini sul livello di ricezione compresi tra 2 e 45 dB. Analizzando i valori ottenuti in funzione del numero di prese dell'impianto si nota come gli impianti con un numero di prese elevato tendano ad avere un margine maggiore rispetto ad impianti con basso numero di prese. Questo è probabilmente dovuto alla maggior cura con cui viene realizzato un impianto che deve servire un maggior numero di utenti e che quindi ha una complessità maggiore.

Verranno ora riportati alcuni esempi dei segnali misurati e analizzate le cause di mancata ricezione.

3.3 Esempi di corretta ricezione

Due esempi di spettri di potenza misurati alle prese d'utente in caso di corretta ricezione sono riportati nelle figure 4 e 5, relative rispettivamente agli alloggi n° 1 (dettaglio) e 17 (banda IV e V).

In particolare, nel caso dell'alloggio 17 (figura 5) è visibile sullo spettro l'effetto di una riflessione del segnale. Dalla misura all'uscita dell'antenna si è rilevato che la riflessione non è introdotta dall'impianto centralizzato, ma è già presente in antenna. L'entità della riflessione è comunque modesta, e tale da non degradare il segnale DVB-T.

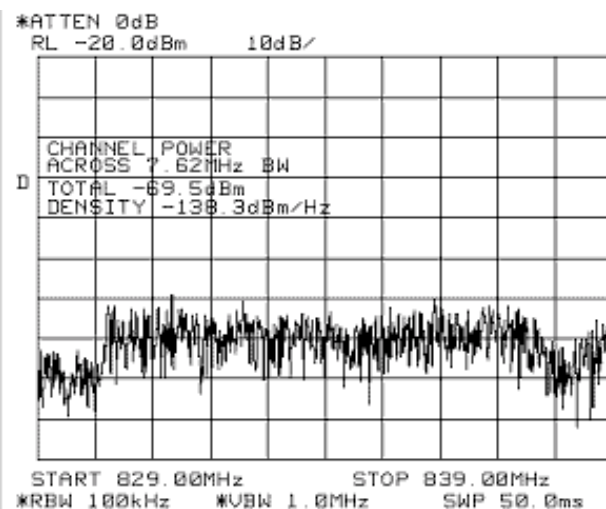
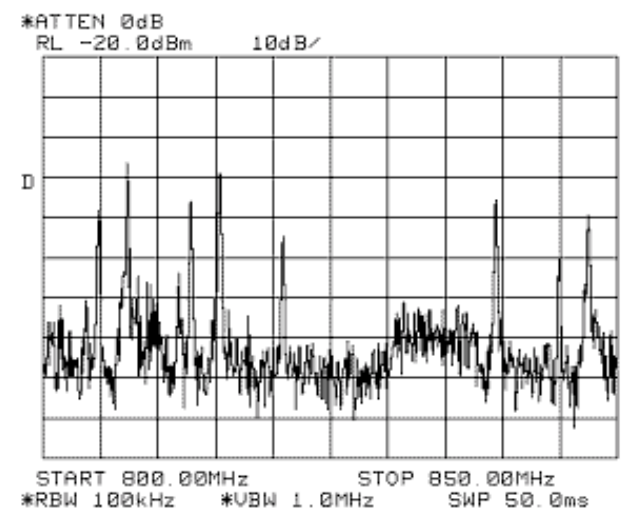



Fig. 6 - Spettri di potenza alla presa dell'alloggio n° 5.

3.4 Margine sul livello di ricezione di 2 dB

La figura 6 mostra lo spettro di potenza, con due diversi gradi di dettaglio, misurato alla seconda presa dell'alloggio n° 5 in cui è stata possibile la ricezione con un margine sul livello di ricezione di 2 dB. In questo caso il livello nominale del segnale alla presa d'utente è risultato di circa 39 dB(μV), ben al di sotto del livello minimo consigliato dalle norme CEI per i segnali DVB-T di 47 dB(μV) [7]. Sono stati misurati anche i livelli dei canali adiacenti (analogici): circa 31 dB(μV) per il canale 65 (La7) e 57 dB(μV) per il canale 67 (Quartarete).

Le stesse misure, ripetute ad una presa nel sottotetto, hanno dato un margine di attenuazione di 17 dB. In questo caso il livello del segnale digitale è risultato di circa 53 dB(μV): la differenza sul margine di attenuazione rispetto alla seconda presa d'utente è quindi principalmente dovuto all'attenuazione dell'impianto.

3.5 Mancata ricezione per interferente PAL co-canale

La figura 7 mostra invece lo spettro, con due

Fig. 7 - Spettri di potenza alla presa dell'alloggio n° 6.

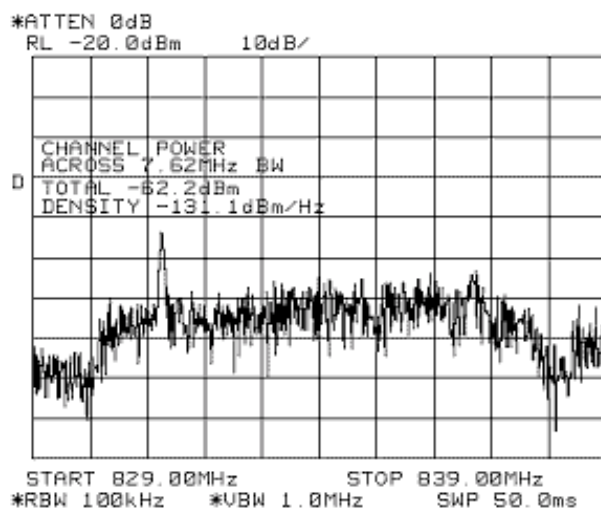
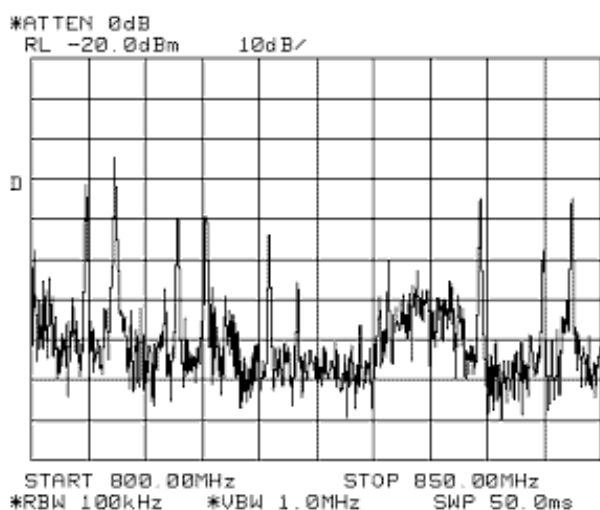
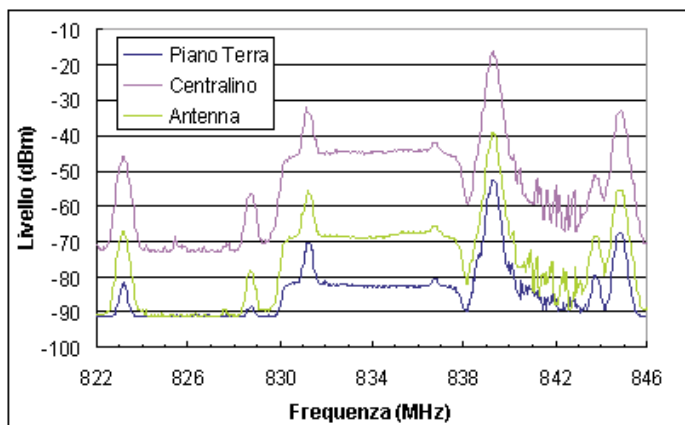



Fig. 8 - Spettri di potenza relativi all'alloggio n° 20.

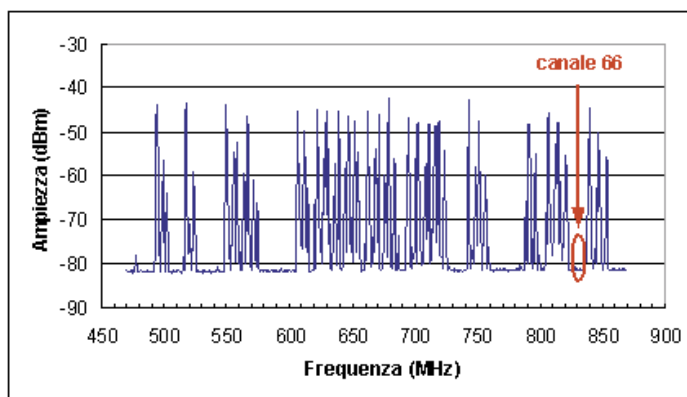



Fig. 9 - Spettro di potenza alla presa d'utente dell'alloggio n° 16 (centralino canalizzato).

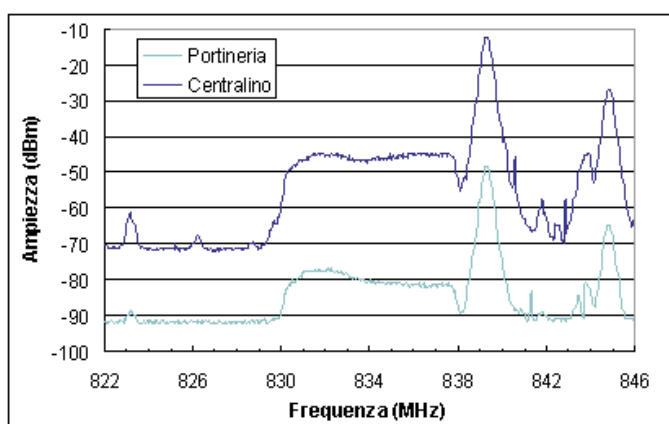



Fig. 10 - Spettro di potenza al centralino ed alla presa d'utente dell'alloggio n° 16 dopo l'inserimento dell'amplificatore di canale DVB-T (canale 66).

diversi gradi di dettaglio, misurato alla presa dell'alloggio 6 in cui non è stata possibile la ricezione a causa della presenza di un interferente PAL.

La presenza dell'interferente co-canale fa sì che il ricevitore DVB-T sia in allarme anche in assenza di attenuazione aggiunta.

Il livello del segnale utile, depurato dal contributo dell'interferente, è pari a circa 44 dB(μV), mentre il livello del segnale interferente PAL (Quartarete), misurato in assenza del segnale DVB-T, è di circa 48 dB(μV): il C/I risulta quindi pari a -4 dB. Il rapporto di protezione richiesto da un segnale DVB-T con modulazione 64-QAM e rate 2/3 interferito da TV analogica (PAL) è invece di 4 dB [17].

Un altro esempio di presenza di un interferente co-canale è riportato nella figura 8, relativa all'alloggio 20. Dalle misure effettuate al centralino, si nota chiaramente che l'interferente co-canale è già presente in antenna.

3.6 Impianti con centralino canalizzato

La figura 9 (alloggio 16) mostra un esempio di spettro alla presa d'utente, nel caso di centralino canalizzato (23 canali distribuiti nell'impianto). Il canale 66 non è presente. Per distribuire il canale 66 nell'impianto è stato quindi inserito un apposito amplificatore di canale. In questo modo (figura 10) è stato quindi possibile ricevere correttamente il segnale DVB-T alla presa d'utente, con un margine sul livello di ricezione di 27 dB. Si nota la presenza sullo spettro di distorsioni sulla curva ampiezza-frequenza del canale 66, introdotte dall'impianto.

3.7 Altre cause di degradamento

L'esame degli spettri relativi agli altri impianti testati non ha infine evidenziato altre gravi cause di degradamento, quali distorsioni lineari o non-lineari.

3.8 Risultati della campagna di misure

I principali risultati ottenuti dalla campagna di misure su impianti reali nell'area di servizio del trasmettitore DVB-T di Torino-Eremo possono essere così sintetizzati:

- Negli impianti che utilizzano un centralino a larga banda, il segnale DVB-T è stato correttamente ricevuto in 17 impianti su 19, per una percentuale di corretta ricezione di circa il 90 %.
- I margini sul livello al ricevitore misurati in questi impianti sono compresi tra 2 e 45 dB.
- L'unica causa di mancata ricezione negli impianti che utilizzano un centralino a larga banda è stata la presenza di un interferente co-canale (2 impianti su 19: 10 % circa). Si noti che altri punti di misura situati nelle vicinanze di questi due impianti critici non hanno manifestato problemi di interferenza: pertanto si può ipotizzare che un intervento sull'antenna possa risolvere i problemi riscontrati.
- Gli altri casi di mancata ricezione riscontrati sono dovuti al fatto che il centralino è canalizzato e privo del modulo per il canale 66 (4 impianti su 23: 17%).

Alcune misure effettuate da tecnici Fracarro nella città di La Spezia sui segnali DVB-T diffusi da Tele+, seppur eseguite con scopi diversi, hanno confermato i risultati ottenuti nell'area torinese [15].

Per quanto riguarda l'incidenza degli impianti che adottano una tecnica di amplificazione con amplificatori di canale rispetto a quelli che utilizzano solo amplificatori a larga banda, è opportuno ricordare che le norme CEI consigliano, in genere, l'adozione di amplificatori di canale con controllo automatico di guadagno [7]. Nel caso più generale questa tecnica è l'unica che assicura la funzionalità dell'impianto ed il mantenimento nel tempo delle caratteristiche dei segnali alle prese d'utente. Tuttavia, in casi particolari, dopo specifica valutazione da parte dell'installatore e in genere in impianti di piccole dimensioni, è possibile adottare altre tecniche di amplificazione, utilizzando ad esempio amplificatori a larga banda. In questo caso è possibile che non tutti i canali ricevuti siano conformi alle norme CEI.

Nonostante queste prescrizioni, gli impianti che utilizzano amplificatori canalizzati non sono molto diffusi: da dati forniti dai costruttori di apparati e componenti per impianti centralizzati d'antenna, si stima che sul territorio italiano gli impianti con centralino a larga banda rappresentino il 90% circa del totale degli impianti.

Dai risultati ottenuti nella campagna di misure si possono trarre alcune prime indicazioni circa l'adeguamento degli impianti centralizzati in vista dell'introduzione della televisione digitale terrestre. Queste indicazioni si riferiscono ovviamente a situazioni riconducibili al test bed di Torino in cui, in particolare, il segnale DVB-T viene irradiato da un sito e su bande di frequenza per cui l'impianto è dotato di antenna di ricezione e i livelli dei segnali digitali nell'area di servizio sono entro i limiti specificati in precedenza; si possono poi ritenere tanto più valide quanto più il campione esaminato rappresenta l'effettiva realtà degli impianti centralizzati d'antenna.

- Gli impianti centralizzati esistenti che utilizzano un centralino a larga banda in molti casi non necessitano di alcun intervento per la distribuzione della TV digitale terrestre.
- In alcuni casi potrebbero essere necessari interventi per adeguare il livello del segnale al ricevitore ed aumentare il margine di ricezione.
- La presenza, in alcuni casi, di un segnale interferente PAL co-canale potrebbe rendere necessario il riposizionamento dell'attuale antenna ricevente o l'aggiunta di una antenna maggiormente direttiva per discriminare, se possibile, il segnale utile dall'interferente.

Nel caso in cui il centralino adotti una amplificazione canalizzata, è necessario, invece, adeguare l'impianto aggiungendo il modulo relativo al canale DVB-T ed, eventualmente, la relativa antenna di ricezione.

E' opportuno ricordare, infine, che la realizz-

azione degli impianti di distribuzione via cavo per segnali televisivi, sonori e servizi interattivi ed eventuali successivi adattamenti devono essere eseguiti in conformità alle norme tecniche emanate dal CEI, che prescrivono adeguate caratteristiche elettriche e meccaniche, cosicché l'impianto sia in grado di soddisfare i requisiti di funzionalità e sicurezza che anche la legge impone (Legge 46/90).

4. Conclusioni

Sono state esaminate le problematiche della ricezione tramite gli impianti centralizzati d'antenna dei segnali di televisione digitale terrestre (DVB-T). Sono state effettuate indagini sia teoriche che sperimentali su impianti centralizzati realizzat0i in laboratorio con differenti tecniche di amplificazione e distribuzione. Successivamente è stata condotta una campagna di misure sulla ricezione negli impianti centralizzati d'antenna dell'area torinese del segnale DVB-T diffuso dal trasmettitore di Torino-Eremo. La presenza del segnale DVB-T nell'area torinese ha reso possibile la sperimentazione in ambienti di ricezione reali.

I risultati della sperimentazione hanno contribuito, da un lato, alla definizione delle specifiche normative sugli impianti di distribuzione via cavo e, dall'altro lato, alla diffusione presso gli operatori del settore ed il grande pubblico delle problematiche di qualità e sicurezza degli impianti di ricezione televisiva.

Dai risultati della campagna di misure in area di servizio su impianti centralizzati esistenti sono emerse alcune indicazioni sul comportamento degli impianti reali circa l'introduzione dei nuovi segnali DVB-T.

5. Ringraziamenti

Si desidera ringraziare il sig. F. Cuccia per il suo contributo alle misure sui ricevitori commerciali.

Si desidera inoltre ringraziare i colleghi del Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica che si sono prestati ad effettuare le misure nella loro abitazione, ed in particolare i sigg. S. Meneghello e R. Olivazzo.

Si ringraziano infine i tecnici e gli installatori FRACARRO che hanno reso possibile un'analisi approfondita delle prestazioni in alcuni impianti.

Le previsioni di area di servizio per il DVB-T sono dell'ing. P.B. Forni.

Bibliografia

1. V. Sardella: Reception of satellite digital TV signals via community installations (SMATV), Fourth European Conference on Satellite Communications, Roma, novembre 1997.
2. M. Cominetti, F. de Luca, M. Pietrangeli, V. Sardella: Impianti d'antenna nella ricezione da satellite, pubblicazione RAI, luglio 1998.
3. SM: Business Plan, Deliverable DE019, Nov. 1998, Type: P.
4. ETSI: Digital broadcasting systems for television, sound and data services; Satellite Master Antenna Television (SMATV) distribution systems, EN 300 473, 08/97.
5. M. Cominetti, P.B. Forni, V. Sardella: Digital broadcasting technologies and services: new opportunities for public operators - IBC '98, Amsterdam, Sept. 1998.
6. P.B. Forni, S. Ripamonti, V. Sardella: Sperimentazione pre-operativa DVB-T in area di servizio, Elettronica e Telecomunicazioni, N° , data.
7. CEI: Guida per l'applicazione delle norme riguardanti gli impianti di distribuzione via cavo per segnali televisivi, sonori e servizi interattivi, Norma Italiana CEI 100-7 Edizione Seconda, 04/2001.
8. CEI: Impianti d'antenna: come far installare gli impianti per la televisione e i rela-

tivi servizi interattivi; direttive tecniche ed esecutive, 1a Edizione, novembre 2001.

9. V. Sardella: Perspective of future SMATV/MATV systems, Ginevra - Forecast 2000 (EBU), novembre 2000.
10. L. Aluffi, D. Milanesio, V. Sardella: Coesistenza dei segnali televisivi terrestri analogici (PAL) e numerici (OFDM) negli impianti centralizzati d'antenna, relazione CRIT N° 99/09.
11. L. Aluffi, D. Milanesio, V. Sardella: Distribuzione di segnali DVB-T in un impianto centralizzato d'antenna, relazione CRIT N° 99/19.
12. F. Cuccia, V. Sardella: Contribution to the determination of the performance requirements for the cabled distribution systems (Doc. IEC 100D/68CD) - DVB signals, IEC/100D/WG3 Turin meeting, 24/05/2001.
13. F. Cuccia, D. Milanesio, V. Sardella: Contribution to the determination of the performance requirements for the cabled distribution systems (IEC/CENELEC standards) - Phase Noise for OFDM (DVB-T) signals" Cenelec/TC209/WG4 meeting, luglio 2001.
14. G.P. Placidi, V. Sardella: Caratterizzazione di componenti attivi per impianti centralizzati d'antenna e segnali DVB-T, relazione CRIT N° 99/18.
15. D. Milanesio, G.P. Placidi, V. Sardella: Ricezione del segnale DVB-T diffuso dal trasmettitore di Torino-Eremo (can. 66) negli impianti centralizzati d'antenna, Relazione CRIT N° 01/11.
16. CEPT: The Chester 1997 Multilateral Coordination Agreement relating to Technical Criteria, Coordination Principles and Procedures for the Introduction of Terrestrial Digital Video Broadcasting (DVB-T), Chester, luglio 1997.
17. ETSI: Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for DVB terrestrial services; Transmission aspects, TR 101 190, dicembre 1997

Il Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica all’IBC 2002

L’IBC (International Broadcasting Convention) è uno degli eventi più importanti a livello mondiale per quanto riguarda la tecnologia nel campo della radiodiffusione.

L’evento consiste in una mostra e in una conferenza strutturata in flussi relativi a temi tecnici, di management e creativi. Si tiene ogni settembre presso il Centro Congressi in Amsterdam (www.ibc.org).

Nella edizione del 2002 la conferenza si è tenuta dal 12 al 16 e la mostra dal 13 al 17; i visitatori sono stati oltre 50.000 da circa 120 paesi.

Il Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica, presente alla Mostra presso l’EBU-Village dell’Unione Europea di Radiodiffusione (stand 10.411), ha allestito tre dimostrazioni relative alla fattibilità di nuovi sistemi e servizi:

- prototipo di sistema di acquisizione in un Catalogo Multimediale per la documentazione automatica, la segmentazione e l’indicizzazione dei programmi TV
- ri-multiplatore semplificato per la distribuzione via satellite dei segnali ai trasmettitori televisivi digitali. L’uso di ri-multiplatori convenzionali può aumentare i costi e la complessità della rete: la soluzione innovativa proposta0 dal CRIT consente una notevole semplificazione della catena, sostituendo il ri-multitiplatore con un apparato semplice e di basso costo in grado di estrarre un “bouquet virtuale” inserito nel bouquet via satellite
- alcuni esempi di applicazioni informative ed interattive per i servizi di pubblica utilità (T-Government). Le dimostrazioni erano basate sullo standard MHP per le applicazioni DTT interattive sulla cui adozione sono favorevoli i principali operatori televisivi italiani

Alla Conferenza sono stati presentati i seguenti contributi:

- DTT Network Structures and Technical Innovations”
- Mobile DVB-T Reception: Quality of Streaming Over IP of Audiovisual Services
- Automated ingestion of audiovisual content

Che cosa è, come funziona: Il disco ottico versatile (DVD)

ricerca bibliografica e testo:
ing. Marzio Barbero e ing. Natasha Shpuza

1. Premessa

Il numero dell'aprile 1999 di Elettronica e Telecomunicazioni si apriva con l'articolo "Il DVD: un supporto versatile per video, audio e dati". L'anno prima era comparso sul mercato italiano il DVD e l'articolo, nelle conclusioni, affermava che il DVD aveva già avuto un successo notevole e che lo sviluppo di strumenti di *authoring* avrebbe consentito una vasta affermazione di questo supporto.

Questa scheda vuole introdurre le caratteristiche principali del formato fisico dei dischi DVD, mentre le schede successive pubblicate su questo numero di Elettronica e Telecomunicazioni, sono relative allo sviluppo dei supporti registrabili e riscrivibili e al prevedibile futuro dei dischi ottici, con prestazioni superiori, in termini di capacità e velocità di trasferimento dei dati. Schede specifiche verranno proposte in futuro per approfondire le caratteristiche specifiche dei formati per applicazioni video e audio (DVD-Video e DVD-Audio), sulle tecniche di codifica di canale e di protezione dagli errori.

2. Cenni storici

Nel 1982 venne introdotto lo standard del CD (*Compact Disc*), per la riproduzione del segnale audio digitale, e nel 1985 quello per il CD-ROM (*CD-Read Only Memory*).

La capacità dati, pari a 650 MB, un decennio dopo appariva limitata per applicazioni di tipo video e, nel 1993 fu proposto il primo disco a doppia densità in grado di memorizzare due ore di video in formato MPEG-1.

Nel 1995 Toshiba e Time Warner proposero un formato caratterizzato da due strati (*Super Density Disc*), mentre Philips e Sony ne proposero un'evoluzione a doppia faccia del CD (MMCD, *Multi Media CD*).

Per evitare che si riproponesse una situazione simile a quella che contrappose, nel campo della riproduzione video domestica, i formati Betamax e VHS, un gruppo di industrie operanti nel settore del Personal Computer, guidate da IBM, si fece promotore della costituzione di un consorzio finalizzato alla definizione di uno standard unico. Il consorzio, nato nel settembre 1995 e costituito da dieci aziende, fra cui quelle proponenti i due formati sopra menzionati, formulò nell'agosto 1996 lo standard per un disco "versatile" (DVD, *Digital Versatile Disc*) per applicazioni video, sia a doppio strato che a doppia faccia. Il primo riproduttore DVD video fu reso disponibile nel novembre dello stesso anno.

Nel 1997 il consorzio venne sostituito dal DVD Forum, aperto a tutte le entità interessate allo sviluppo e promozione del sistema.

3. Caratteristiche del supporto

Il DVD venne sviluppato per superare la limitazione in termini di capacità e di velocità di trasferimento dati del CD e per consentire la riproduzione di informazioni video digitali

Tab. 1 - Confronto fra i principali parametri fisici del DVD e quelli del CD.

Parametro	DVD	CD	
Lati (side)	1 o 2	1	Sono previsti DVD a doppia faccia e a doppio strato per un totale di 4 formati fisici (vedere tabella 2)
Strati (layer)	1 o 2	1	
Capacità [GB]	Da 4,7 a 17	0,68	1 GB è pari a 10^9 byte (parola da otto bit), in ambito informatico spesso si indica con 1 GB la capacità di $1024^3=2^{30}$ byte.
Diametro esterno [mm]	120	120	Sono previste anche versioni DVD con diametro 80 mm
Spessore del substrato [mm]	0,6	1,2	
Distanza fra le tracce [μm]	0,74	1,6	
Minima lunghezza dei pit [μm]	0,83	0,4	
Lunghezza d'onda [nm]	650	780	Del diodo laser di riproduzione
Apertura numerica	0,6	0,45	
Velocità lineare [m/s]	3,49	1,3	Velocità nominale 1x
Modulazione (codice di canale)	8 a 16	EFM (Eight to Fourteen Modulation)	EFM è un codice 8 a 14
Codice di protezione dagli errori	RSPC (Reed Solomon-Product Code)	ECC	
Tracce	No	Si	Il DVD usa una struttura a file, non a tracce

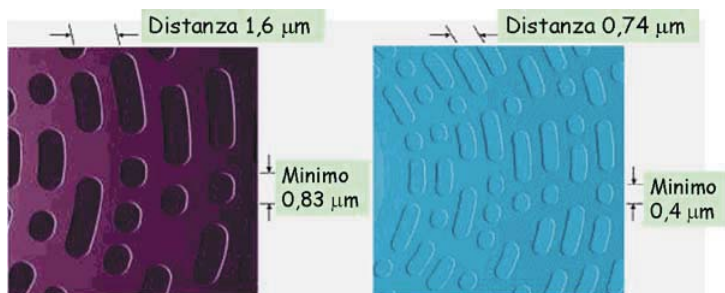



Fig. 1 - Confronto fra le dimensioni delle tracce sdi un CD (a sinistra) e di un DVD (a destra).

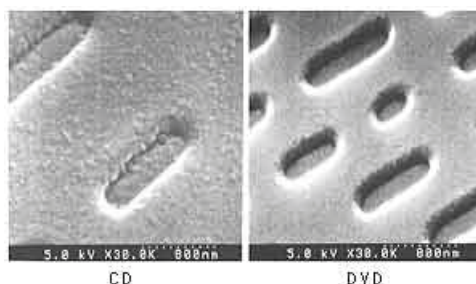



Fig. 2 - Fotografie al microscopio elettronico relative ai pit nel caso di CD e di DVD (fonte www.pioneer.co.jp).

(caratterizzate da una qualità superiore a quella ottenibile mediante l'uso di cassette analogiche VHS). Le caratteristiche fisiche del supporto lo rendono simile in apparenza al CD (sono dischi dello stesso diametro e spessore), ma, come si desume dalla tabella 1, consentono di ottenere una capacità almeno 7 volte superiore, al fine di soddisfare le raccomandazioni delle industrie dell'intrattenimento, in particolare la possibilità di riprodurre, nel caso di disco a singola faccia, almeno 133 minuti di video di risoluzione standard, conforme alla raccomandazione ITU-R BT.610.

I dati sono codificati sotto forma di piccole fossette (*pit*) realizzate su una superficie metallizzata, nel caso del DVD i *pit* sono di dimensioni ridotte e più vicine fra loro rispetto a quelle specificate nel caso del CD (figure 1 e 2).

La produzione dei DVD a sola lettura è effettuata utilizzando un disco *master* di vetro. La macchina che realizza i master è denominata

	DVD-5	DVD-9	DVD-10	DVD-18
Capacità [GB]	4,7	8,54	9,4	17,8
Numero di strati (layer) per faccia (side)	1	2	1	2
Numero di facce	1	1	2	2

Tab. 2 - Lo standard DVD prevede quattro diverse configurazioni e capacità, in funzione del numero di strati (single layer o double layer) e del numero di facce registrate (single side o double side).

LBR (*Laser Beam Recorder*, registratore a raggio laser), sono stati sviluppati LBR che utilizzano laser all'argon o al krypton caratterizzati da una lunghezza d'onda (351 nm) prossima a quella dell'ultravioletto.

La dimensione del raggio di lettura è direttamente proporzionale alla lunghezza d'onda (650 nm nel caso del DVD, inferiore a quella del CD) e inversamente proporzionale all'apertura numerica (NA=0,6 per il DVD, superiore a quella del CD): in questo modo è possibile ottenere l'aumento della densità di dati registrabili.

Per limitare gli effetti della non corretta inclinazione (*tilt*) tra il raggio di luce incidente e la superficie del disco, lo spessore del substrato è stato ridotto, nel caso del DVD, a 0,6 mm, la metà del valore adottato per il CD. Per garantire comunque una sufficiente robustezza, lo spessore del DVD è uguale a quello del CD: due substrati da 0,6 sono assemblati, ottenendo cosi lo spessore di 1,2 mm.

Fig. 3 - La lettura delle informazioni per le quattro possibili configurazioni (DVD-%, DVD-9, DVD-10, DVD-18)

Entrambi i substrati possono contenere informazioni: esiste quindi un formato singola-faccia (SS, *Single Side*) ed un formato doppia-faccia (DS, *Double-Side*). Inoltre lo standard prevede anche la possibilità di due strati per ciascuna faccia e quindi sono quattro i possibili formati e altrettante le capacità massime ottenibili per i dischi DVD (tabella 2 e figura 3).

I dischi DVD-5 sono costituiti da un *sandwich* di due substrati, uno metallizzato contenente i dati, l'altro vuoto. Quelli DVD-9 sono costituiti da un substrato semiriflettente (*layer 0*) ed uno metallizzato (*layer 1*) uniti insieme mediante uno strato otticamente trasparente. In quelli DVD-10 due substrati metallizzati sono uniti in modo da poter essere letti dalle due facce (l'eventuale etichetta può essere realizzata solo nella piccola area a forma di anello in prossimità del foro del disco). Nei dischi DVD-18 due substrati a due *layer,* analoghi a quelli del DVD-9, sono uniti, come nel caso del DVD-10.

4. Formati e applicazioni

Le specifiche tecniche relative ai vari formati DVD sono riportati in cinque libri, pubblicati dal DVD Forum (tabella 3).

Sono stati sviluppati formati applicativi per:

DVD-Video: la memorizzazione di video (codificato MPEG-2) corredato di audio (sono previsti diversi formati di codifica), sottotitoli (fino a 32 lingue), protezione da copie non

Tab. 3 - Le specifiche tecniche per i DVD sono pubblicati dal DVD Forum in 5 libri. I formati registrabili e riscrivibili sono oggetto delle altre schede pubblicate in questo numero della rivista.

Book	Denominazione	Parte 1 fisica	Parte 2 File System	Parte 3 Applicazione	Versione
A	DVD-ROM	A sola lettura	ISO9660/UFD	Non definita	1.01
B	DVD-Video	A sola lettura	UFD	MPEG-2 video	1.1
C	DVD-Audio	A sola lettura	UFD	Audio di alta qualità	1.2
D	DVD-R	Scrivibile	UFD	Non definita	2.0
E	DVD-RAM/RW	Riscrivibile	UFD	Non definita	2.0

autorizzate, codici regionali per limitare la possibilità di riproduzione ad una specifica regione (delle 6 in cui è stato suddiviso il mondo).

DVD-Audio: le specifiche sono state finalizzate nel 1999 e recentemente sono stati realizzati sia i riproduttori che i dischi.

DVD-ROM: sono dischi a sola lettura, i contenuti possono essere quelli del DVD-Video, del DVD-Audio, oppure dati di tipo informatico. I file sono organizzati secondo il System File UFD (Universal Disk Format), che è comune a tutti i DVD, ma è possibile accedere ai dati anche utilizzando il formato ISO-9660 con estensione Joliet, per consentire la compatibilità con i sistemi precedenti (CD-ROM) e quindi l'utilizzo da parte di PC.

Schede di prossima pubblicazione descriveranno più in dettaglio la struttura logica dei DVD e dei format applicativi.

Tab. 4 - Produzione mondiale di CD e DVD.
Fonte: IRMA International Recording Media Association.

	2001	2002	2003
CD-Audio	4 774	4 709	4 680
CD-ROM	3 429	3 275	3 110
CD-Video	1 095	1 101	1 046
DVD-Video	1 080	1 740	2 415
DVD-ROM	170	298	438
DVD-Audio	6	25	60
Totale delle copie di CD e DVD prodotte nel mondo	10 554	11 148	11 749

5. Il mercato

La diffusione del DVD ha avuto negli ultimi anni una rapida crescita, in termini di unità per la riproduzione e di copie di dischi prodotte e vendute. I dati disponibili si riferiscono agli anni precedenti al 2002: alla fine del 2001 il numero di lettori DVD nelle case dei cittadini dell'Europa occidentale era pari a 13,4 milioni: almeno un riproduttore DVD nell'8,6% delle case. Per quanto riguarda il software, cioè i dischi prodotti e venduti, la tabella 4 fornisce un quadro dell'evoluzione della produzione nel mondo di CD e DVD (suddivisi a secondo dell'applicazione video, audio, ROM) e la tabella 5 è relativa alla vendita negli anni 2000-2001 di DVD nei paesi dell'Europa Occidentale.

Tab. 5 - Vendita di DVD nei paesi dell'Europa Occidentale.
Fonte: IVF International Video Federation

	2000 [milioni]	2001 [milioni]	00/01 [%]
Austria	0,4	1,3	225
Belgio	2,6	4,9	91
Danimarca	0,7	1,6	120,5
Finlandia	0,5	1,5	190
Francia	12,5	26,4	110,9
Germania	8,2	18,9	130,5
Grecia	0,1	0,1	156
Irlanda	0,3	0,6	148,8
Italia	2,7	5,3	96,3
Olanda	1,9	4,9	157,9
Portogallo	0,2	0,5	225
Spagna	3,0	6,3	110
Svezia	1,1	2,7	147,4
Gran Bretagna (UK)	16,6	41,3	148,8
Totale Paesi Europa Occidentale	**53**	**122**	**129,4**

Che cosa è, come funziona:
Dischi Scrivibili e Riscrivibili (DVD-R/RW, DVD+R/RW, DVD-RAM)

ricerca bibliografica e testo:
Marzio Barbero e Natasha Shpuza

grafica 3D:
Mario Muratori

animazioni per web:
Carlo Bonugli

1. Premessa

Il riproduttore di DVD è il prodotto di elettronica di consumo che ha avuto la più veloce penetrazione di mercato nella storia. Le industrie del settore tentano di ricreare un fenomeno analogo proponendo i registratori (DVR) di DVD scrivibili e riscrivibili, adatti sia al mercato della video-registrazione che a quello della registrazione dati (computer e notebook). Si assiste ad una proliferazione dei formati, con conseguente estensione dei problemi di compatibilità. Le tecnologie alla base dei vari formati sono, d'altro canto, simili fra loro e probabilmente saranno alla base dei dischi ottici, a capacità più elevata.

2. Cenni storici

Dalla prima scheda dedicata ai dischi ottici *"Che cosa è, come funziona: Il disco ottico versatile (DVD)"* pubblicata su questo numero di Elettronica e Telecomunicazioni risulta evidente che il processo di normalizzazione di prodotti diretti all'ampio mercato dell'elettronica di consumo spesso non manca di contrasti: gli interessi economici e di prevalenza sui mercati (americano, europeo, asiatico, mondiale) sono notevoli.

Nel 1997 il DVD Forum (www.dvdforum.org) si impegna, una volta definito il DVD-Video, nell'attività di normalizzazione dei formati per dischi ottici compatibili, registrabili e riscrivibili ed in effetti a partire da quell'anno vengono normalizzati il DVD-RAM (1997), il DVD-R ver. 1.0 (1997), il DVD-RW (1999), DVD-R ver. 2.0 *Authoring* e General (2000).

Ma già nel 1998 si costituisce una nuova coalizione che attualmente si chiama DVD+RW Alliance (www.dvdrw.com) e che utilizza il logo + RW. Questa alleanza ha prodotto le specifiche per dischi riscrivibili DVD+RW e scrivibili DVD+R.

3. DVD Scrivibili

3.1 DVD-R

Lo standard per i dischi scrivibili DVD-R (*Recordable*) è stato realizzato per consentire la massima compatibilità con i dischi a sola lettura.

E' del 1997 la versione 1.0 dello standard, che prevedeva inizialmente una capacità di 3,95 GB, successivamente portata a 4,7 GB. Del febbraio 2000 la versione 2.0 *Authoring* e del maggio dello stesso anno la versione 2.0 *General*.

Le due versioni differiscono per la lunghezza d'onda del laser utilizzato per la registrazione: 635 nm per la versione *Authoring* e 650 nm per quella *General*. Entrambi i dischi possono essere riprodotti sui registratori DVD-R, ma la registrazione può essere effettuata solo con il registratore specifico per la versione di disco utilizzato.

Il disco di tipo *Authoring* è previsto per applicazioni professionali, in particolare per la creazione di titoli DVD; è utilizzato, per esempio, dalle industrie di produzione dei film e

come master per la realizzazione di DVD stampati. Il disco di tipo *General* è diretto al mercato *consumer* per memorizzare immagini video o dati, è disponibile solo nella capacità a 4,7 GB.

Nella zona interna del disco esiste un'area dati denominata *R-information area* che è utilizzata per calibrare la potenza del laser di scrittura (PCA: *Power1 Calibration Area*) e per la gestione della registrazione (RMA: *Recording Management Area*) in modo da assicurare la riproduzione da parte di un generico lettore DVD.

I dischi di tipo *General* contengono dati preregistrati nella zona interna del disco che hanno lo scopo di limitare le possibilità di copia. I dischi *Authoring* non hanno tale restrizione.

La struttura dei dischi DVD-R è schematizzata in figura 1. Si basa sul sistema *land & groove*, ovvero sulla superficie del disco (la terra, *land*), è scavato un solco (*groove*) e i dati sono costituiti da fossette (*pit*) di lunghezza diversa, che rappresentano le informazioni binarie. I solchi non sono rettilinei, ma ondulati (*wooble*): questa struttura sinusoidale è utilizzata dal sistema di identificazione e lettura della traccia (*tracking*). Sono presenti "*land pre-pit*", ovvero fossette preregistrate periodicamente sulla *land*: il loro scopo è quello di assicurare il corretto posizionamento nella fase di registrazione. Sul disco esiste un solo solco, avvolto a spirale: la scrittura è sequenziale ed i dati sono organizzati come un singolo flusso (*stream*).

Fig. 1 - DVD-R - Sono rappresentati: la struttura dei dati registrati (woobled-groove) e i diversi strati (layer) che costituiscono il disco.

La scrittura dell'informazione avviene agendo con il raggio laser sul pigmento organico che costituisce lo strato sensibile. Il pigmento, a causa dell'azione del raggio laser, subisce un cambiamento chimico irreversibile: il disco può essere scritto una sola volta. I materiali utilizzati come pigmento sono normalmente del composti ottimizzati per reagire alla lunghezza d'onda di 650 nm. Il coefficiente di riflettività è circa 45% - 85%, lo stesso specificato per i DVD.

3.2 DVD+R

Il formato scrivibile della Alliance è il DVD+R, la registrazione avviene lungo un solco continuo (*uninterrupted woobled groove*) che costituisce una spirale continua. La capacità è 4,7 GB. La scrittura è effettuata dal laser producendo il riscaldamento dello strato sensibile, con il successivo raffreddamento la modificazione fisica e chimica è irreversibile. I parametri sono specificati al fine di avere la massima compatibilità con i lettori di DVD-Video e i DVD-ROM.

4. DVD Riscrivibili

4.1 DVD-RW

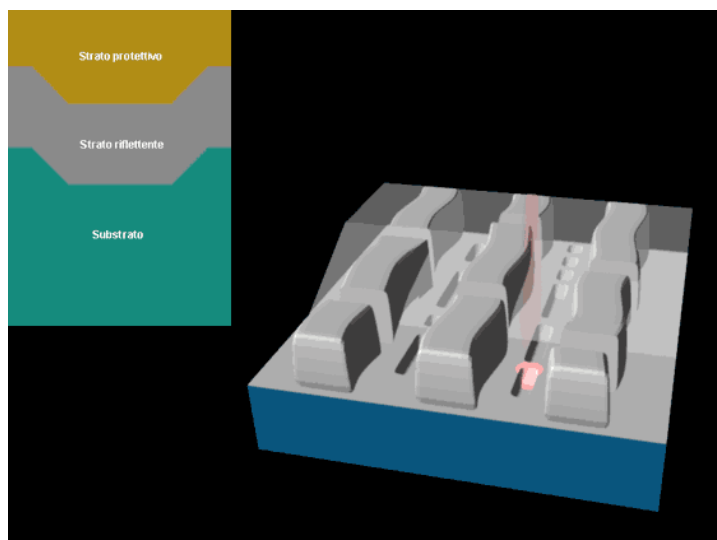
Il formato DVD-RW (*ReWritable*) è normalizzato nel novembre 1999 e garantisce una buona compatibilità con il DVD. Le specifiche prevedono 4,7 GB come capacità, scrittura sequenziale mediante laser a 650 nm (i dischi supportano la registrazione sia con laser a 635 nm che a 650 nm). Utilizza la preformattazione mediante *groove wooble* e *land pre-pit* . La *R-information area* è uguale a quella prevista per i DVD-R e esiste un'area preregistrata per prevenire la copiatura uguale a quella prevista dalla versione *General* del DVD-R. Lo scopo a cui è destinato questo formato è la registrazione domestica.

Il DVD-RW (figura 2) differisce dal DVD-R per quanto riguarda il procedimento di registrazione: utilizza il metodo a cambiamento di fase (*phase-changing*). Il materiale sensibile è una lega di argento, indio, antimonio e tellurio (AgInSnTe), ed è caratterizzato da riflettività 18% - 30%, più bassa di quello dei materiali utilizzati per il DVD-R.

Fig. 2 - DVD-RW La struttura è del tutto analoga a quella DVD-R, la differenza è nella struttura a strati del disco.

I processi di lettura, scrittura e cancellazione sono riprodotti in figura 3. In condizioni normali il materiale presenta una struttura cristallina ordinata e la riflettività alla luce è elevata. Quando il materiale viene sottoposto all'azione della luce del laser a potenza sufficientemente elevata, la temperatura sale al di sopra di quella di fusione, il materiale si raffredda bruscamente e presenta una struttura amorfa, gli atomi non sono più allineati secondo la struttura geometrica, cristallina, e la riflettività alla luce è bassa.

Fig. 3 - Descrizione schematica del processo di registrazione e cancellazione per i dischi riscrivibili.

Nel processo di cancellazione, il materiale viene riscaldato ad una temperatura leggermente superiore a quella di cristallizzazione e viene fatto raffreddare lentamente, in modo che gli atomi riassumano la struttura ordinata, cristallina.

Il processo di cambiamento di fase sopra descritto può essere effettuato più volte e quindi il disco è riscrivibile: generalmente il disco è riscrivibile circa 1000 volte, più che sufficiente per applicazioni domestiche, di

videoregistrazione.

4.2 DVD+RW

Il formato riscrivibile della Alliance è il DVD+RW. Utilizza il metodo di cambiamento di fase per modificare la riflettività del materiale policristallino AgInSbTe. I parametri sono specificati al fine di avere la massima compatibilità con i DVD-Video e i DVD-ROM.

Il DVD+RW può registrare sia in modo sequenziale, che con accesso casuale poiché supporta sia la modalità CAV (*constant angular velocity*), che quella CLV (*constant linear velocity)*. In modo CAV, la velocità di rotazione del disco rimane costante e ciò consente l'accesso casuale ai dati sul disco, permettendo la registrazione di dati indipendentemente dalla posizione fisica all'interno del disco. Nella modalità CLV, la registrazione dei dati avviene a forma di spirale, a partire dal foro centrale verso il bordo esterno del disco, e la velocità di rotazione del disco viene gradualmente ridotta in modo da mantenere costante la velocità lineare di scrittura, in modo da mantenere costante la velocità di trasferimento dei dati: questa modalità è adatta alla registrazione di segnali video.

Le specifiche sono state curate per facilitare l'*editing* dei contenuti del disco dopo che esso è già stato in parte scritto, mantenendo l'integrità dei dati già presenti. Infatti la sospensione dell'operazione di scrittura del disco può essere all'origine della presenza di una ampia area corrotta (normalmente un settore di 2 kB) dovuta alla limitata precisione con cui viene effettuata la "giunta" fra il preesistente ed il nuovo blocco di dati: questa area corrotta è causa di incompatibilità di lettura per i lettori DVD. La precisione ottenibile nel caso +RW è stata portata a livello del μm per cui è realizzabile l'aggancio della nuovo blocco di informazioni senza perdite (*lossless linking*).

Fig. 4 - DVD-RAM, i dati sono registrati secondo la struttura wooble land groove.

4.3 DVD-RAM

E' stato il primo formato della famiglia DVD a consentire la riscrittura dei dati ed ha fatto la sua comparsa nel 1997. E' l'unico che fa uso di un contenitore (*cartridge*) per proteggere il disco da eventuali impronte o righe dovute alla manipolazione. Esistono tre tipi di *cartridge* per il disco da 120 mm: il tipo 1 è sigillato ed impedisce la rimozione del disco, il tipo 2 è usato per i dischi a singola faccia e permette la rimozione, il tipo 4 per i dischi a doppia faccia e permette la rimozione. Esiste anche il tipo 6, per dischi da 80 mm e permette la rimozione del disco.

La versione 1.0 (1997), del diametro di 120 mm, ha la capacità di 2,6 GB nel caso di disco a singola faccia e 5,2 GB nel caso di doppia faccia. La versione 2.0 (1999) ha capacità 4,7 GB e 9,4 GB, rispettivamente nel caso di disco da 120 mm a singola e a doppia faccia. Nel caso di disco da 80 mm la capacità è 1,4 GB per la versione singola faccia e 2,8 GB per quella doppia faccia. Non esiste il formato a doppio strato per il DVD-RAM.

La struttura del DVD-RAM è schematizzata in figura 4. Lo strato sensibile è costituito da un materiale a cambiamento di fase, il GeSbTe (Germanio, Antimonio e Tellurio). Il laser utilizzato è caratterizzato da lunghezza d'onda 650 nm.

Il metodo di registrazione della traccia è denominato *wooble land groove*: con questo metodo i dati sono registrati sia sulla *land* che

sul *groove,* ottenendo così un'elevata densità di memorizzazione. Il periodo di ondulazione del solco è rivelato dal sistema di *tracking* del registratore ed utilizzato per controllare la rotazione del motore.

Il disco è organizzato in settori e per ogni settore vi è una zona di indirizzamento denominata CAPA (*Complementary Allocated Pit Address*). La combinazione di *wooble land groove* e dell'uso dell'indirizzamento dei singoli settori assicura una elevata affidabilità nel posizionamento dei dati.

Una caratteristica specifica del DVD-RAM è costituita da un meccanismo di gestione dei difetti del disco che consente di sostituire, in modo gestito direttamente a livello hardware, gli eventuali settori difettosi con settori riservati a tale scopo (tale area rappresenta circa il 5% della capacità destinata all'utente). I settori difettosi possono essere individuati a livello di certificazione del disco (difetti primari) oppure al momento della sua registrazione (difetti secondari). I primari sono registrati nell'elenco denominati PDL (*Primary Defect List*) ed i secondari nella SDL (*Secondary Defect List*).

Il disco è diviso in zone (nel caso di disco a 4,7 GB vi sono 35 zone, la zona più interna è organizzata in 25 settori per traccia, la zona più esterna in 59 settori per traccia). La velocità di lettura lineare è mantenuta costante per ciascuna zona (formato ZCLV, *Zone Constant Linear Velocity*).

Il DVD-RAM è stato il primo formato DVD riscrivibile, ma è anche il meno compatibile con il DVD-Video e DVD-ROM, sia per la presenza del *cartridge*, sia per la struttura dei dati. E' un formato più adatto ad applicazioni di tipo informatico: di elevata capacità ed affidabilità, riscrivibile fino a 100000 volte. La velocità massima di trasferimento dati è pari a 22,16 Mbps.

5. Applicazioni

5.1 Player e Recorder (riproduttori e registratori per video e dati)

Il mercato più ampio sarà quello della videoregistrazione domestica e della archiviazione dei dati di *personal computer* e *notebook* (la capacità offerta da CD-R e CD-RW è ormai molto sottodimensionata rispetto a quella degli hard disk attuali).

I formati DVD-R e DVD-RW sono soprattutto indirizzati al primo uso, assicurare la compatibilità con DVD-Video, ma contestualmente limitare la possibilità di copiatura pirata. Il formato DVD-RAM ha una maggiore attitudine alle applicazioni informatiche.

Per tentare di eliminare i problemi di compatibilità presente fra i formati creati ufficialmente dal DVD Forum (DVD-Video, DVD-ROM, DVD-Audio, DVD-R, DVD-RW, DVD-RAM, DVD-Video Recording) sono state approvate le specifiche DVD Multi versione 1.0. Sono state anche approvate le specifiche per effettuare i test di conformità a DVD Multi per i riproduttori e i registratori ad uso informatico, sono in corso di definizione quelle per i riproduttori e registratori per uso consumer (video).

Lo scopo finale è quello di permettere l'individuazione dei prodotti conformi alle specifiche DVD Multi Player o DVD Multi Recorder, che potranno ottenere la Licenza ed essere contrassegnati da apposito Logo.

I prodotti non creati dal DVD Forum, quindi quelli dell'Alliance, sono esclusi. D'altro canto, secondo i loro proponenti, dovrebbero essere proprio i formati +R e +RW a presentare vantaggi di maggior compatibilità con DVD-Video e DVD-ROM e essere adatti ad un più ampio spettro di applicazioni, comprese quelle di tipo informatico.

5.2 DVDCAM (telecamere digitali)

Un altro prodotto di consumo che può far uso di supporti DVD è la telecamera digitale. Attualmente i camcorder più diffusi, quelli di

tipo consumer e quelli professionali, fanno uso di nastri come supporto di memorizzazione, ma recentemente è stata proposta una DVDCAM, ovvero una videocamera che registra su DVD-RAM (doppia faccia) oppure su DVD-R (singola faccia) da 80 mm di diametro. I formati di codifica sono MPEG-2 (per il video) e JPEG (per le immagini fisse). Possono essere registrati fino a 36 minuti di video su un disco.

Basata sulla stessa tecnologia è stata sviluppata anche una versione utilizzabile in campo professionale o *broadcast*.

5.3 Jukebox (sistemi di archiviazione)

I supporti ottici sono considerati ottimi per l'archiviazione dati e alcuni produttori hanno realizzato *jukebox* per consentire l'accesso automatizzato a centinaia di dischi. Il jukebox è costituito da uno o più contenitori in cui i dischi sono immagazzinati in un ambiente pulito e protetto, un robot pilotato gestito da un apposito software può accedere al disco selezionato e portarlo ad uno dei lettori o registratori per leggere, memorizzare o modificare l'informazione desiderata.

Le applicazioni di tipo informatico sono in generale legate a grossi *database* (in genere contenenti testi e immagini).

Diverse sono le applicazioni di possibile interesse per i *broadcaster*:

- gestione dei contenuti video e applicazioni *browsing*: chi deve realizzare un programma o un servizio giornalistico ricerca e individua, mediante accesso ad un *database* i contributi (video, audio, immagini, testi) che potrebbero essere utili alla realizzazione del prodotto finale; i contenuti identificati sono accessibili (eventualmente a qualità e bit-rate ridotti) nei dischi contenuti nel jukebox.
- *video server* per applicazioni *Near-On-Line*: brani audio o video (ad esempio inserti pubblicitari) sono memorizzati nei dischi del jukebox e vengono trasferiti nei server utilizzati per la trasmissione o la messa in onda, in base ad elenchi di programmazione (*play list*) preparate ad esempio su base giornaliera.
- registrazione dei contenuti audio e video andati in onda (*video logging*): per ragioni legali o di verifica effettiva messa in onda (ad esempio nel caso di inserti pubblicitari o di brani soggetti a pagamento diritti) occorre tenere traccia di quanto trasmesso (eventualmente su più canali contemporaneamente) ed essere in grado di effettuare ricerche sul materiale archiviato.

Molti produttori forniscono diverse configurazioni di jukebox, con capacità che variano da un centinaio di dischi fino a strutture costituite da più *rack* con capacità dell'ordine di migliaia di dischi. Un esempio di configurazione di capacità elevata era dimostrato alla recente mostra IBC 2002 ad Amsterdam: il sistema *DVD Data Cart* nella sua configurazione più estesa (10 unità rack, ogni unità è alta 2 m, pesa 300 kg e consuma 300 W) supporta fino a 20580 dischi con una capacità fino a 193 TB (con DVD-RAM o DVD-R doppia faccia da 9,4 GB).

6. Il Mercato

La diffusione dei riproduttori di DVD-Video ha avuto un eccezionale successo, prezzi (e margini di guadagno) si sono rapidamente ridotti. Il mercato dei lettori DVD per personal computer e notebook si è sviluppato altrettanto rapidamente e con conseguenze simili.

Attualmente le industrie, in particolare quelle dei computer, sono interessate ad introdurre registratori (DVR) di DVD scrivibili e riscrivibili nei nuovi prodotti, soprattutto i notebook. Fra i sostenitori della Alliance si trovano i maggiori produttori di computer, mentre il DVD Forum annovera soprattutto i produttori di apparati video, ma la distinzione non è così netta e vi è uno dei maggiori produttori di elettronica di consumo che partecipa ad entrambi i consorzi.

Recentemente è comparso sul mercato un modello di DVR in grado di scrivere dischi sia -RW e -R che dischi +RW e +R, e questo

potrebbe semplificare il problema del consumatore nella scelta del formato da utilizzare. Ciononostante la presenza di formati diversi, non giustificati da motivazioni applicative, genera confusione nel consumatore e quindi disincentiva gli acquisti.

Nel frattempo i prezzi, sia dei DVR che dei dischi, scendono e la società di ricerca IDC prevedono che le vendita di DVR superi i 3 milioni di esemplari quest'anno e cresca fino a 30 milioni nel 2005.

Riferimenti bibliografici

Tra le varie fonti, citiamo:

♦ ”DVD Enciclopedia”, Hitachi Maxell Ltd, febbraio 2002

♦ “DVD Technical Guide”, www.pioneer.co.jp/crdl/tech/index-e.html

♦ Rich Gadomski: *The Versatile DVD, Media Formats: Which One is Best*, “Storage Inc., Computer Technology Review, West World Puroductions, Inc. Publication”, secondo quadrimestre 2002

Questo articolo fornisce valutazioni relative ai problemi di compatibilità nel caso di applicazioni di *authoring* video, basate su un'ampia campagna di test:

♦ Ralph LaBarge: *DVD compatibility test*, Digital Video, CMP Media, luglio 2002

Alcune figure sono state realizzate basandosi su quelle presenti sul sito del produttore di dischi riscrivibili www.optodisc.com/tech.html.

Che cosa è, come funziona: Il futuro è Blu (Blu-Ray Disc, AOD, ...)

ricerca bibliografica e testo:
ing. Marzio Barbero e ing. Natasha Shpuza

grafica 3D:
ing. Mario Muratori

1. Premessa

Quest'anno il processo di sviluppo di un nuovo supporto ottico a più elevata capacità rispetto al DVD ha avuto un'improvvisa accelerazione, con la proposta e la dimostrazione di fattibilità di due formati, denominati *Blu-Ray Disc* e *Advanced Optical Disc*. La competizione di due formati alternativi non è una novità nel campo dell'elettronica consumer e, come è accennato nella scheda "Che cosa è, come funziona: il disco ottico versatile (DVD)" fu all'origine anche della storia del DVD. Vi sono comunque delle caratteristiche in comune in questi due nuovi formati:

- le dimensioni fisiche del supporto (120 mm di diametro e 1,2 mm di spessore),
- la lunghezza d'onda del laser utilizzato per la scrittura/lettura 405 nm, corrispondente ad un colore blu,
- il fatto che saranno disponibili per prime le versioni riscrivibili.

2. Cenni storici

Nel 1995 è dimostrato il primo diodo laser violetto InGaN dalla Nichia Chemical Industrial. La stessa industria fornisce nel 1999 i primi campioni di laser con potenza ottica in uscita di 5 mW, e dal giugno 2001 fornisce laser con lunghezza d'onda di 405 nm e potenza ottica massima di 30 mW. Nel 2002 la Sony realizza un laser da 30 mW e una vita di 15000 ore e la Mtsushita Electric Industrial Co. Ltd. sviluppa un laser SHG (Second Harmonic Generation) da 30 mW.

Nel gennaio 2002 la Toshiba, che ha la presidenza del DVD Forum, annuncia lo sviluppo di un registratore che utilizza un laser da 405 nm e in febbraio un gruppo di 9 società[Nota 1] annunciano le specifiche del formato Blue-Ray Disc. Al Ceatec 2002 (*Combined Exhibition of Advanced Technologies- Providing Image, Information and Communications*), mostra e conferenza tenute in Giappone dal 1 al 5 ottobre, la Toshiba presenta il formato in competizione a quello Blu-Ray Disc, denominato Advanced Optical Disc (AOD).

Il DVD Forum annuncia la formazione di due sottogruppi per studiare i differenti approcci tecnici per lo sviluppo della nuova generazione di formato DVD basato sull'uso di Laser Blu: un sottogruppo studierà un approccio basato sullo strato di protezione spesso 0,6 mm, l'altro gruppo quello con strato da 0,1 mm.

Nota 1.
Le società che supportano il formato Blu-ray disc sono le giapponesi Hitachi Ltd., Matsushita Electic Industrial Co. Ltd., Pioneer Corp., Sharp Corp.; le coreane LG Electronics Inc. e Samsung Electronics Co. Ltd.; la francese Thomson Multimedia S.A. e l'olandese Philips Electronics.
Da giugno altre società possono valutare le specifiche, dopo la firma di un accordo di confidenzialità delle informazioni, per eventuali accordi di licenza. Alla Ceatec 2002, anche la Victor Co. (JVC) ha presentato un prototipo di registratore Blu-Ray Disc.

3. Il Blu è più complesso, rispetto al Rosso

I problemi realizzativi connessi alla registrazione/riproduzione di un disco ottico sono complessi e crescono significativamente con l'aumentare della densità dell'informazione memorizzata.

I dischi ottici della prima generazione, i CD, sono basati sull'uso di laser (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) a semiconduttore che emettono luce con una lunghezza d'onda di 780 nm, corrispondente al colore rosso. Il DVD utilizza laser con lunghezza d'onda di 650 nm. La prossima generazione di dischi

ottici utilizza laser con lunghezza di 405 nm, corrispondente al blu/violetto.

La luce emessa dal laser deve essere focalizzata sul punto da leggere (o scrivere) mediante una lente. Sono noti i criteri (denominati di Maréchal, dal nome dello studioso chi li ha stabiliti nel 1947) per realizzare le superfici della lente per ottenere la distribuzione ideale del fascio di luce focalizzato. Il sistema ottico è caratterizzata da un parametro, denominato NA (*Numerical Aperture*. Apertura Numerica) che è descritto in figura 1. Se si utilizza la lente ottima secondo i criteri di Maréchal, il diametro del fascio di luce è direttamente proporzionale alla lunghezza d'onda e inversamente proporzionale a NA.

Per il CD, il valore di NA è 0,45, per il DVD è 0,60 e per la prossima generazione di dischi ottici NA è 0,85.

Nel caso dei sistemi a laser blu/violetto il diametro del fascio è circa un quinto rispetto a quello utilizzato per il DVD: l'uso di luce con lunghezza d'onda minore e di un sistema ottico con NA superiore consente la memorizzazione delle informazioni con una densità circa 5 volte superiore rispetto a quella del DVD.

Purtroppo a valori maggiori di NA corrispondono inclinazioni sempre maggiori dei raggi che convergono nel punto focale e la profondità in cui si ha il fuoco diminuisce. Per focalizzare il raggio sul punto voluto occorre che l'asse ottico sia perpendicolare al disco. Al crescere di NA, l'ampiezza tollerata dell'angolo fra asse ottico e perpendicolare al disco diminuisce e con i valori di NA utilizzati, è inferiore al grado. Vi sono molte combinazioni di diametro della lente e distanza focale a cui corrisponde lo stesso NA, ma, per ragioni di costo, occorre utilizzare lenti del minimo diametro, montate il più vicino possibile alla superficie del disco. Alle alte densità di memorizzazione, il sistema di scansione che deve essere utilizzato, l'unico che soddisfa tutti i criteri ottici, è quello derivato dal microscopio a scansione.

Non è facile mantenere la tolleranza richiesta all'angolo fra asse ottico e perpendicolare al disco, che durante la scrittura/lettura è in rotazione. Per ottenere una tolleranza accettabile, e quindi evitare la perdita di fuoco e l'interferenza dovuta alle informazioni adiacenti (*crosstalk*), occorre ridurre lo spessore dello strato trasparente di protezione. Nel DVD tale strato è di 0,6 mm; nel caso di valori di NA quali utilizzati nei sistemi a laser blu, e per mantenere i margini entro valori simili a quelli del DVD, lo spessore dello strato deve scendere a 0,1 mm.

Fig. 1 - I dettagli di un oggetto possono essere risolti solo se il fronte d'onda difratto dovuto alla frequenza spaziale più elevata è raccolto dalla lente. L'Apertura Numerica NA è stata in origine definita da Abbe per gli obiettivi dei microscopi come $NA = n \sin \theta$, dove n è l'indice di rifrazione del mezzo e vale 1 nel caso dell'aria e θ è la metà dell'angolo di apertura dell'obiettivo. Ne consegue che, per una data lunghezza d'onda, NA determina la risoluzione.

Se si utilizza uno strato di 0,1 mm, anziché 0,6 mm, si riduce fortemente la possibilità di compatibilità con i dischi DVD: i lettori a laser blu non sono normalmente in grado di leggere i DVD (ovviamente è sempre possibile dotare i nuovi registratori/riproduttori anche di un laser rosso, ma al momento questa non pare sia un'opzione gradita ai costruttori).

Un altro problema è legato alla distanza fra la lente e lo strato protettivo, i fabbricanti dei dischi ottici hanno dovuto sviluppare un processo produttivo che assicuri una maggiore uniformità dello spessore dello strato trasparente protettivo, per ridurre i rischi di contatto con la lente e le aberrazioni ottiche, più deleterie al crescere di NA.

I sistemi convenzionali adottano lenti costituite da due parti non sferiche. L'uso di una lente unica consente una minor precisione nella fase di montaggio e permette di aumentare la distanza della lente dal disco a 0,7 mm (altrimenti sarebbe necessario una distanza di 0,5 mm), riducendo così il rischio di contatto accidentale tra la lente e la superficie del disco.

Da quanto si è detto, appare evidente che il

sistema a laser blu è più vulnerabile, rispetto al sistema attuale, alla presenza di impurità sulla superficie del disco (impronte o particelle di polvere). Per questa ragione sono proposti sistemi di rivelazione e correzione degli errori più sofisticati e si prevede l'uso di un contenitore chiuso (*cartridge*).

4. Blu-Ray Disc

Le caratteristiche del formato proposto a febbraio dal gruppo di 9 società Nota 1 (su 17 che costituiscono il nucleo del DVD Forum) sono riportate in Tabella 1. Per i supporti sono previsti tre capacità 23,3 GB, 25 GB e 27 GB, per dischi a singolo strato. Il formato prevede anche dischi a doppio strato, con il doppio della capacità. La velocità di trasferimento dei dati è 36 Mbps. Lo strato protettivo è di 0,1 mm, con forti limitazioni di compatibilità con il DVD.

Il flusso digitale MPEG-2 potrà essere registrato direttamente, così come viene ricevuto da satellite o dalla diffusione digitale terrestre, compreso i dati associati. Inoltre il formato prevede la riproduzione a velocità doppia o tripla, oltre alla velocità normale. Sono prodotte per prime le specifiche relative ai dischi riscrivibi-

Tab. 1 - Le caratteristiche del formato del Blu-Ray Disc a confronto con quelle del DVD video.

	Blu-Ray disc			DVD video
Capacità di registrazione	23,3 GB	25 GB	27 GB	4,7 GB (disco a singola faccia, singolo strato)
Lunghezza d'onda del laser	405 nm (blu-violetto)			650 nm / 635 nm (rosso)
Apertura Numerica (NA) della lente	0,85			0,6
Velocità di trasferimento dei dati	36 Mbps			Circa 10 Mbps
Diametro del disco	120 mm			120 mm
Spessore del disco	1,2 mm			1,2 mm
Strato protettivo trasmissivo ottico	0,1 mm			Substrato applicato di spessore 0,6 mm
Sistema di registrazione	A cambiamento di fase			A cambiamento di fase (per i dischi riscrivibili)
Formato della traccia	Registrazione del solco (groove recording)			Registrazione del solco
Separazione tra le tracce	0,32 μm			0,74 μm
Minima lunghezza della fossetta (pit)	0,16	0,149	0,138	0,4 μm
Densità di registrazione superficiale (Gbit/pollice²)	16,8	18	19,5	Circa 3,4
Sistema di codifica video	MPEG-2			MPEG-2
Sistema di codifica audio	AC3, MPEG-1 layer 2, e altri			AC3, MPEG-1 layer 2, PCM lineare, e altri
Sistema di multiplazione video e audio	MPEG-2 transport system			MPEG-2
Dimensione del cartridge	Circa 129 x 131 x 7 mm			Senza cartrige, il DVD-RAM è dotato di cartridge
Osservazioni	Adotta la tecnologia di protezione dei diritti che utilizza identificativi memorizzati sui dischi individuali			Utilizza come formato di disco l'UDF

li, successivamente verranno introdotte quelle per i dischi a sola lettura. Infatti si prevede che l'uso principale sarà la registrazione di video a definizione standard SDTV (fino a 13 ore di capacità) e, dove e quando sarà disponibile, di video ad alta definizione HDTV (fino a due ore).

5. Advanced Optical Disc (AOD)

Alla fine di agosto Toshiba Corp. e NEC Corp. hanno presentato al DVD Forum una proposta congiunta per il nuovo formato di disco ottico, successivamente denominato AOD (Advanced Optical Disc).

Come si è già accennato, questo formato ha numerose caratteristiche in comune con quello Blu-Ray Disc, in particolare dimensioni ed uso del laser blu a 405 nm.

Si sceglie però di privilegiare la compatibilità con il DVD, utilizzando uno strato protettivo da 0,6 mm e sacrificando in questo modo la densità di memorizzazione ottenibile. La capacità del disco è indicativamente circa 15 GB per strato nel caso di dischi preregistrati, e di 20 GB per strato nel caso di dischi registrabili. La tecnica di registrazione dovrebbe essere simile a quella utilizzata per i DVD-RAM e questo comporta un ulteriore vantaggio: il riutilizzo, con minime modifiche, degli attuali impianti di fabbricazione dei dischi.

6. Altre tecnologie

Sono diverse le tecniche, oltre a quelle descritte, utilizzabili per memorizzare grandi quantità di dati. La più diffusa è la registrazione magnetica, su nastro e su disco; è stata recentemente dimostrata la fattibilità di alcuni sistemi per la registrazione di tipo ottico su supporti multistrato e mediante tecniche olografiche.

6.1 Dischi magnetici

Nella registrazione magnetica su disco, la testina di registrazione vola ad una distanza di circa 0,1 mm dalla superficie magnetica e, nella fase di registrazione, orienta opportunamente minuscoli domini magnetici; nella fase di lettura i campi magnetici associati ai domini sono rivelati e decodificati come flusso binario. Il processo è teoricamente reversibile un numero infinito di volte.

La densità di registrazione per unità di superficie è cresciuta di circa il 60% all'anno negli ultimi dieci anni e alla fine del secondo millennio si ipotizzava che si sarebbe raggiunto il *limite super paramagnetico*, dovuto ad una instabilità dei domini magnetici che si sarebbe riscontrato, a densità superiori ai 40 Gbit/in^2 Nota 2, alle normali temperature operative. Attualmente esistono prototipi di dischi che dimostrano la realizzabilità di densità superiori a due o tre volte tale valore. Oggigiorno, con la tecnica di registrazione utilizzata per gli *hard disk* denominata *registrazione magnetica longitudinale,* si ipotizza che consenta di raggiungere densità pari a 100 Gbit/in^2.

La tecnica denominata *registrazione magnetica perpendicolare* Nota 3, la cui applicazione è allo studio, potrebbe consentire il raggiungimento di densità di 500 - 1000 Gbit/in^2. Sono oggetto di studio nei laboratori di ricerca ulteriori tecniche che promettono in futuro densità ancora superiori: la registrazione magnetica assistita da calore (HARM, *Heat Assisted Magnetic Recording*) che permette la scrittura utilizzando domini magnetici più piccoli, o l'uso di *media* strutturati in modo tale da ridurre la dimensione e la disposizione casuale dei granuli magnetici.

Per quanto riguarda la velocità di trasferimento dei dati (*data transfer rate*), che cresce con la densità lineare di registrazione e con la velocità di rotazione del disco, oggigiorno sono presenti sul mercato prodotti caratterizzati da velocità fino a 80 MB/s.

6.2 Dischi Ottici Multistrato Fluorescenti

Il concetto di dischi ottici multistrato è stato in origine proposto e dimostrato da Philips e IBM. Il DVD realizza questo concetto nella versione a due strati, ma risulta difficile aumentare il numero di strati a causa della natura coerente della luce laser impiegata per la lettura (e scrittura) dell'informazione registrata. Infatti i raggi di luce riflessi dai diversi strati si sommano e sottraggono in fase: la loro combinazione è causa di interferenza.

Una società fondata nel 1995, la C3D di New York, ha proposto una tecnica denominata FMD (*Fluorescent Multilayer Disc*) che, in linea di principio, consente di superare tale problema. I singoli strati sensibili sono rivestiti da una sostanza fluorescente che emette luce quando viene colpita dalla luce emessa da un laser: la luce emessa ha una lunghezza d'onda differente da quella incidente (leggermente spostata verso il rosso) ed è incoerente per natura. Attraversa quindi indisturbata gli strati adiacenti e viene rivelata, mediante l'uso di filtri di separazione, dal dispositivo di lettura.

La società precedentemente citata ha dimostrato la fattibilità del sistema (dimostrando CD con 10 strati da 650 MB ciascuno) e ha proposto tecniche per la realizzazione di dischi sia a sola lettura che registrabili. La tecnica consentirebbe capacità pari a 140 GB per un disco delle dimensioni del DVD e con laser a luce rossa e ancora superiori con laser a luce blu. Ma le azioni della C3D, quotata al Nasdaq, sono crollate, e la tecnica, fino a qualche mese fa considerata molto promettente, sembra oggi essere fuori gioco, anche se non sono chiare le cause di questa improvvisa crisi, probabilmente non dovuta solamente a problemi di trovare finanziatori per la realizzazione di un prodotto.

6.3 Olografia volumetrica

La teoria alla base della memorizzazione di dati mediante tecniche olografiche ha ormai quasi quaranta anni e numerose industrie di primo piano hanno investito cifre considerevoli nella ricerca. Nonostante l'impegno profuso non sono finora stati ottenuti risultati pratici significativi, tanto che questa tecnologia è stata indicata, in un articolo pubblicato dalla rivista *Scientific American*, come "la grande bale-

Nota 2
Il diametro degli hard disk, o dischi rigidi, è normalmente espresso in pollici (inch). Un pollice, pari a 25,4 mm, è indicato sia con l'abbreviazione in che con il doppio apice ". Gli hard disk sono costituiti da uno più piatti (platter), lo spessore totale può essere 1,6" oppure 1" (metà altezza o basso profilo). I dischi da 5,25" di diametro sono ormai spariti dal mercato e i più diffusi sono da 3,5" (circa 90 mm). Dischi da 2,5" sono utilizzati soprattutto come memoria di massa di notebook e portatili, sono caratterizzati da un prezzo per GB è più elevato.

Nota 3
La registrazione magnetica perpendicolare fu proposta per la prima volta circa venti anni fa dal Prof. Shun-ich Iwasaki, come risultato dei suoi studi sul modo di magnetizzazione circolare ad elevata densità di registrazione. Nella registrazione perpendicolare, la direzione della magnetizzazione è normale alla superficie del film, anziché parallela alla superficie stessa, così come avviene nella registrazione longitudinale.

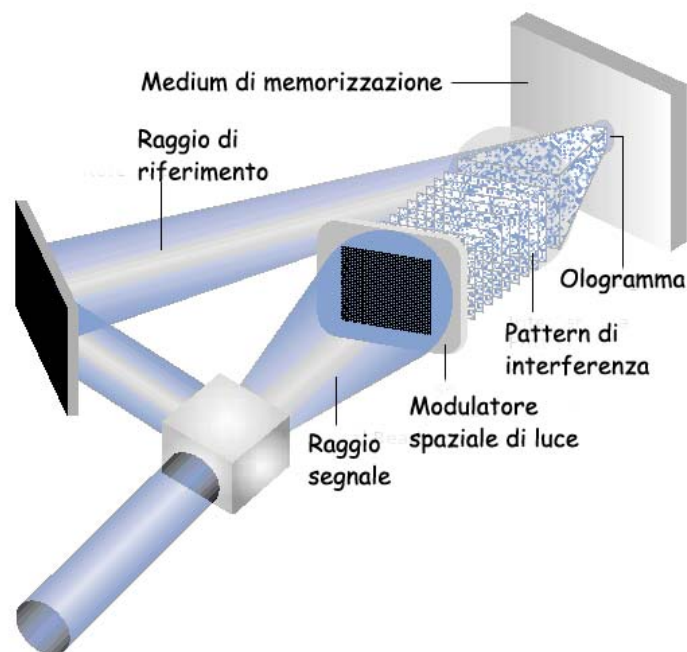



Fig. 2 - principio di funzionamento della memorizzazione dati tramite olografia. La luce coerente proveniente da un laser viene separata in due raggi: il raggio segnale (che trasporta i dati) e il raggio di riferimento. I dati sono organizzati in pagine e sono codificati mediante un modulatore spaziale della luce. Di fatto gli 0 e 1 sono memorizzate sotto forma di matrici di pixel che lasciano passare o bloccano la luce e la registrazione avviene all'interno di un materiale fotosensibile, nei punti del piano in cui interferiscono fra loro il raggio segnale e quello di riferimento (immagine tratta dal sito dell InPhase Technologies).

na bianca della ricerca tecnologica". Le ragioni per cui la caccia alla balena continua sono da ricercare nel salto qualitativo e quantitativo che la tecnica promette: maggiore capacità e velocità di trasferimento dati più elevata.

Le informazioni sono registrate sotto forma di matrici di pixel all'interno di un volume (figura 2), consentendo così una più elevata densità di memorizzazione, e sono lette da un sensore caratterizzato da un elevato grado di parallelizzazione, ottenendo così velocità di trasferimento di decine o centinaia di MBps.

Il principio è stato perfezionato da tempo, ma la realizzabilità pratica è stata finora limitata dalla disponibilità di componentistica adatta, ovvero di dimensioni e prezzo contenuti e di elevata affidabilità.

Recentemente la InPhase Technology, società fondata nel dicembre 2000 come *venture* della Lucent Technologies per realizzare prodotti basati sulle tecnologie messe a punto nei Bell Labs, ha dimostrato al NAB (*National Association of Broadcasters*, mostra e conferenza, Las Vegas, aprile 2002) una architettura che ha le seguenti caratteristiche:

- possibile utilizzazione di laser a 680 nm o 405 nm, sviluppati per i dischi ottici, come sorgente coerente;
- possibile adozione dei dispositivi a microspecchio utilizzati per videoproiettori (si veda la scheda pubblicata sul precedente numero di Elettronica e Telecomunicazioni *"Che cosa è, come funziona: proiettori a microspecchi (DMD, DLP)"*) come modulatori spaziali della luce;
- impiego di sensori a CMOS, sviluppati e prodotti a basso costo per essere utilizzati negli apparati fotografici digitali, come dispositivi di lettura;
- il medium è una miscela di due componenti polimerizzabili indipendentemente, caratterizzato da un'elevata dinamica e altamente fotosensibile nel caso di utilizzo in formati di spessore millimetrico (adatto per formati tipici dei dischi ottici).

E' stata dimostrata una densità di registrazione pari a 32,5 Gbit/in^2. e si ipotizza che siano raggiungibili valori superiori a 100 Gbit/in^2.

7. Il mercato

Le previsioni più ottimistiche indicano la comparsa di sistemi Blu-Ray Disc alla fine del 2003, in Giappone e Corea. Ma vi sono numerosi possibili ostacoli sul cammino. Il costo dei componenti deve ridursi, ed in particolare il costo dei laser blu deve scendere decisamente dal valore iniziale di circa 1000 $. Al Ceatec sono stati dimostrati prototipi, ma il processo di realizzazione di prodotti con caratteristiche e costi *consumer* può essere ancora lungo, tenendo conto dei notevoli problemi tecnologici.

Il mercato di massa è quello relativo alla registrazione domestica dei programmi televisivi. Un impulso in tale direzione dovrebbe derivare dall'adozione negli USA della TV digitale terrestre, che prevede anche l'alta definizione. L'organismo federale di controllo americano (FCC) aveva indicato nel 1997 il 1 maggio

2002 come termine per il passaggio alla TV digitale, ma circa 1000 delle 1300 televisioni commerciali non hanno rispettato tale termine. Il mercato di massa per i prodotti HDTV potrebbe realizzarsi, nelle speranze dei produttori di elettronica di consumo, nel 2006, anno in cui tutti i gli apparati TV venduti negli USA dovranno essere dotati, su ordine della FCC, di demodulatori digitali.

I sistemi a disco ottico della nuova generazione darebbero comunque un nuovo impulso alla redditività relativa a produzione e vendita degli apparati di registrazione e riproduzione domestici (attualmente il prezzo di vendita degli apparati più economici è sceso al di sotto dei 100 $) e faciliterebbe la vendita di schermi piatti di grandi dimensioni.

Nel frattempo il comitato dei produttori di contenuti (Hollywood Advisory Committee) sta preparando la lista dei requisiti, non tecnologici, che dovrebbe soddisfare un formato di disco ottico per l'alta definizione.

Di fatto i ritardi maggiori potrebbero essere dovuti, come accadde nel 1995 per il DVD, alla presenza dei due formati concorrenti (Blu-Ray Disc e AOD): occorre che sia raggiunto un compromesso e a tal fine nell'ambito del DVD Forum è stata annunciata la formazione di due sottogruppi per studiare i due approcci.

L'avvento di sistemi di memorizzazione ottica caratterizzati da più elevata capacità e velocità di trasferimento dati ha ovviamente interesse anche nei campi della archiviazione dati: per unità di *backup* per personal computer, ma soprattutto per i grandi sistemi di archiviazione di dati.

Riferimenti bibliografici

Le informazioni relative alla tecnologia della registrazione/riproduzione dei dischi ottici sono tratte principalmente da:

John Watkinson: “The Art of Digital Video”, ISBN 0240515862 - July 1, 2000, Published by Butterworth-Heinemann (Sd)

Kyoichi Hajime: *Toshiba, Blu-Ray Group Part Ways on Emerging Disc Technology*, “BET - Broadcasting Equipment & Technology”, n. 3/2002

La tecnologia FMD è oggetto del *white-paper*: Ingolf Sander: *Fluorescent Multilayer Optical Data Storage*

Informazioni e *white-paper* sulla tecnica olografica sono reperibili sul sito della InPhase Technologies (www.inphase-technologies. com).